UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**A ORIGEM NATURAL DA POLUIÇÃO POR CROMO NO AQUÍFERO ADAMANTINA,
MUNICÍPIO DE URÂNIA (SP)**

Marta Lúcia Nunes Almodovar

Orientador: Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata

TESE DE DOUTORAMENTO

DEDALUS - Acervo - IGC

30900016321

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

São Paulo

2000

SUMÁRIO

ANEXOS	v
FIGURAS	vi
TABELAS	viii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS UTILIZADAS NO TEXTO	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
AGRADECIMENTOS	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. RELEVÂNCIA DO TEMA	1
1.2. OBJETIVOS	2
2. O CROMO NA NATUREZA	3
2.1. GENERALIDADES	3
2.2. O CROMO NOS SOLOS	4
2.2.1. Cromo (III)	5
2.2.2. Cromo (VI)	5
2.2.3. Oxidação e redução	6
2.2.4. Ocorrência e comportamento dos óxidos de manganês no solo	6
2.3. O CROMO NOS MINERAIS	7
2.4. O CROMO NAS ÁGUAS	9
2.4.1. Geoquímica do cromo	10
2.4.1.1. Solubilidade do cromo como função do pH e Eh	10
2.4.1.2. Adsorção	12
2.4.1.3. Agentes redutores	14
3. ÁREA DE ESTUDO	16
3.1. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	16
3.2. ASPECTOS FÍSIOCLIMATOLÓGICOS	16
3.3. GEOLOGIA	19
3.3.1. Grupo São Bento	19

3.3.1.1. Formação Serra Geral	21
3.3.2. Grupo Bauru	23
3.3.2.1. Formação Adamantina	24
3.3.3. Coberturas cenozóicas	26
3.4. HIDROGEOLOGIA	27
3.4.1. Principais aquíferos da região	27
3.4.1.1. Aquífero Serra Geral	28
3.4.1.2. Sistema Aquífero Bauru	29
3.4.2. Características hidroquímicas	30
3.4.2.1. Aquífero Serra Geral	30
3.4.2.2. Sistema Aquífero Bauru	31
 4 MATERIAL E MÉTODO	 33
4.1. ORIGEM ANTRÓPICA	33
4.2. ORIGEM NATURAL	35
4.2.1. Enriquecimento da água por cromo na zona não-saturada	35
4.2.1.1. Coleta de amostras de solos e sedimentos da ZOC e do PC	36
<i>a. Análise macroscópica</i>	38
<i>b. Análise granulométrica</i>	38
<i>b.1. Separação da fração argila para Difração de Raios X (DRX)</i>	39
<i>b.2. Separação de minerais pesados magnéticos e não-magnéticos para DRX e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</i>	39
<i>c. Peneiramento via úmida e separação de minerais pesados</i>	40
<i>c.1. Separação das frações fina, grossa (flutuado e afundado) para ICP-AES, DRX, Microscopia Óptica e MEV</i>	40
<i>d. Análise química</i>	41
<i>d.1. FRX</i>	42
<i>d.2. ICP-AES</i>	43
<i>e. Análise mineralógica</i>	44
<i>e.1. DRX</i>	44
<i>e.2. Microscopia Óptica</i>	45
<i>e.3. MEV</i>	46
<i>f. Extração Sequencial</i>	47

4.2.2. Enriquecimento da água por cromo na zona saturada	50
4.2.2.1. Cadastro de poços tubulares e cacimbas	50
a. Amostragem de águas subterrâneas	51
a.1. Amostragem de água em poços portadores de bombas submersas	51
a.2. Amostragem de água em poços desprovidos de bombas submersas	52
a.3. Amostragem de água a diferentes profundidades	52
a.4. Amostragem de água a diferentes tempos de bombeamento	53
b. Análises físico-químicas de águas subterrâneas	53
c. Análise dos resultados obtidos para a zona saturada	54
 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	 57
5.1. ORIGEM ANTRÓPICA	57
5.2. ORIGEM NATURAL	60
5.2.1. Enriquecimento da água por cromo na zona não-saturada	60
a. Análise macroscópica	60
b. Análise granulométrica	61
c. Análise de cromo na água utilizada para o peneiramento via úmida	62
d. Análise química	63
d.1. ICP-AES	63
d.1.1. Comportamento dos elementos maiores, menores e traços ao longo do perfil de alteração do solo (fração total)	65
d.1.2. Elementos maiores, menores e traços (frações fina e grossa – flutuado e afundado)	70
e. Análise Mineralógica	73
e.1. DRX	73
e.2. Microscopia Óptica	76
e.3. MEV	76
f. Correlações entre composição química do solo, sedimento e mineralogia	79
g. Extração Sequencial	80
h. Síntese dos resultados da zona não-saturada	82
5.2.2. Enriquecimento da água por cromo na zona saturada	85
a. Cadastro de poços tubulares e cacimbas	85
b. Modelo Conceitual de Circulação das Águas Subterrâneas	87

<i>c. Classificação das águas subterrâneas</i>	89
<i>d. Parâmetros físico-químicos analisados nas águas subterrâneas</i>	89
<i>e. Distribuição do cromo nas águas subterrâneas em relação ao tempo e espaço</i>	94
<i>f. Amostragem de águas a diferentes profundidades</i>	98
<i>g. Amostragem de águas a diferentes tempos de bombeamento</i>	98
<i>h. Correlação água-rocha</i>	105
<i>i. Síntese dos resultados da zona saturada</i>	110
 6. CONCLUSÕES	 112
 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 114

ANEXOS	125
Anexo 1: Descrição litológica do material coletado durante a perfuração do poço cacimba	126
Anexo 2: Cadastro de pontos de água da cidade de Urânia	128
Anexo 3: Descrição da análise macroscópica de amostras de solos e sedimentos de Urânia	133
Anexo 4: Resultados das análises granulométricas	135
Anexo 5: Resultados das análises químicas de solos e sedimentos coletados na ZOC e no poço cacimba	138
Anexo 6: Análise estatística de solos da ZOC, solos e sedimentos do poço cacimba e águas dos poços tubulares da Sabesp, tubulares particulares e cacimbas	143
Anexo 7: Resultados da análise mineralógica de solos, sedimentos e rochas por Difração de Raios X e alguns difratogramas	149
Anexo 8: Minerais cromíferos detectados através do MEV	159
Anexo 9: Imagens de minerais cromíferos detectadas através do MEV	164
Anexo 10: Porcentagem de extração de manganês, ferro e cromo em cada uma das fases, considerando-se como total extraído o valor obtido da somatória de todas as extrações	169
Anexo 11: Classificação hidroquímica das águas dos poços tubulares da Sabesp, tubulares particulares e cacimbas (Diagrama de Piper)	171
Anexo 12: Resultados das análises físico-químicas das águas dos poços tubulares da Sabesp, tubulares particulares e cacimbas	178
Anexo 13: Resultados do modelo conceitual de equilíbrio químico (Equilibrium Metal Speciation Model-MINTEQA2-Version 4.0)	196

FIGURAS

Figura 1: Diagrama de especiação do cromo em relação ao pH e Eh	13
Figura 2: Localização geográfica da área de pesquisa e vias de acesso	17
Figura 3: Distribuição do Grupo Bauru no Estado de São Paulo	20
Figura 4: Distribuição dos depósitos de Cobertura Cenozóica no interior do Estado de São Paulo	28
Figura 5: Fluxograma das etapas metodológicas desenvolvidas na pesquisa	34
Figura 6: Pontos de coleta de amostras de solos da ZOC e localização do PC	37
Figura 7: Variação das porcentagens de silte, areia fina, areia média e areia grossa em relação à profundidade de coleta de amostras de solos e sedimentos do PC	62
Figura 8: Correlação entre os teores de Cr e os teores de Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , V e Zr nas amostras de solos da ZOC e de solos e sedimentos do poço cacimba (PC)	66
Figura 9: Variação dos teores de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O , CaO , MgO , Na_2O e MnO em relação à profundidade de coleta de amostras de solos e sedimentos do poço cacimba (PC)	67
Figura 10: Variação dos teores de Ba, Cr, V, Zr, Ni e Sr em relação à profundidade de coleta de amostras de solos e sedimentos do poço cacimba (PC)	68
Figura 11: Variação dos teores de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O e P_2O_5 nas frações fina (<635 mesh) e grossa (>635 mesh-flutuado e afundado)	71
Figura 12: Variação dos teores de MnO , TiO_2 , Ba, Cr, Ni, Sr, V e Zr nas frações fina (<635 mesh) e grossa (>635 mesh-flutuado e afundado)	72
Figura 13: Porcentagem de extração de manganês, ferro e cromo em cada uma das fases, em relação ao total obtido em todas as extrações	83
Figura 14: Poços cadastrados em Urânia	86
Figura 15: Traçado das linhas isopotenciométricas da área de estudo	88
Figura 16: Perfil hidrodinâmico com classificação hidrogeoquímica para as três zonas do aquífero em Urânia	90
Figura 17: Variação dos teores de cromo total em relação ao período de amostragem de águas dos poços tubulares da Sabesp (PP 01, PP 02 e PP 03)	95

Figura 18: Variação dos teores de cromo total em relação ao período de amostragem de águas dos poços tubulares da Sabesp (PP 04 e PP 05)	96
Figura 19: Variação dos teores de cromo total em relação ao período de amostragem de águas dos poços tubulares da Sabesp (PP 06 e PP 08)	97
Figura 20: Distribuição das maiores concentrações de cromo total em mg/L, nas águas dos poços PPs, PTs e Pcs no período de junho de 1998 a junho de 1999	99
Figura 21: Evolução das concentrações de cromo ao longo do perfil esquemático do Aquífero Adamantina em Urânia	100
Figura 22: Variação dos parâmetros físico-químicos analisados nas águas do poço tubular da Sabesp (PP 06) em relação à profundidade de amostragem. Coleta realizada 24 horas após a limpeza do poço	101
Figura 23: Variação dos parâmetros físico-químicos analisados nas águas do poço tubular da Sabesp (PP 06) em relação à profundidade de amostragem. Coleta realizada 48 horas após a limpeza do poço	102
Figura 24: Variação dos parâmetros físico-químicos analisados nas águas do poço tubular da Sabesp (PP 08) em relação à profundidade de amostragem. Coleta realizada 24 horas após a limpeza do poço	103
Figura 25: Variação dos parâmetros físico-químicos analisados nas águas do poço tubular da Sabesp (PP 08) em relação à profundidade de amostragem. Coleta realizada 48 horas após a limpeza do poço	104
Figura 26: Variação dos parâmetros físico-químicos analisados nas águas do poço tubular da Sabesp (PP 02) em relação ao tempo de bombeamento	106
Figura 27: Variação dos parâmetros físico-químicos analisados nas águas do poço tubular da Sabesp (PP 04) em relação ao tempo de bombeamento	107
Figura 28: Variação dos parâmetros físico-químicos analisados nas águas do poço tubular da Sabesp (PP 05) em relação ao tempo de bombeamento	108

TABELAS

Tabela 1: Minerais que podem conter cromo	8
Tabela 2: Composição química dos basaltos em Urânia	22
Tabela 3: Composição química de solos e sedimentos em Urânia	25
Tabela 4: Parâmetros físico-químicos das águas de poços tubulares da Sabesp de Urânia	32
Tabela 5: Teores de cromo total detectados na água deionizada (peneiramento via úmida)	63
Tabela 6: Média dos teores dos elementos analisados por FRX e ICP-AES	64
Tabela 7: Correlações entre os parâmetros químicos analisados nas amostras da ZOC e do PC	65
Tabela 8: Variações dos parâmetros químicos analisados nas frações fina (F) e grossa-flutuado (FI) e afundado (A)	74
Tabela 9: Análise da fração total do solo por Microscopia Óptica	77
Tabela 10: Extração de manganês, ferro e cromo e a predominância destes metais nas diferentes fases	81
Tabela 11: Média dos parâmetros físico-químicos medidos em campo nas águas dos diferentes tipos de poços de Urânia	92
Tabela 12: Média dos parâmetros químicos analisados nas águas dos diferentes tipos de poços de Urânia	93
Tabela 13: Correlações entre os parâmetros físico-químicos analisados nas águas subterrâneas	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS UTILIZADAS NO TEXTO

DRX: Difração de Raios X

Eh: Potencial redox

FRX: Fluorescência de Raios X

ICP-AES: Espectrometria de Emissão Atômica com Fonte em Plasma Induzido

IGc-USP: Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

MEV: Microscópio Eletrônico de Varredura

PC: Poço cacimba escavado para a pesquisa

PCs: Poços cacimbas

pH: Potencial hidrogeniônico

PPs: Poços tubulares da Sabesp

PTs: Poços tubulares particulares

Sabesp: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

ZI: Zona hidroquímica intermediária

ZOC: Zona de Captura de Poços

ZP: Zona hidroquímica profunda

ZR: Zona hidroquímica rasa

RESUMO

Teores anômalos de cromo, algumas vezes ultrapassando o limite máximo permitido para consumo humano (0,05 mg/L), têm sido detectados nas águas subterrâneas de pelo menos 53 cidades da região noroeste do Estado de São Paulo.

Esta pesquisa objetivou definir a origem do cromo nas águas subterrâneas em Urânia, se antrópica ou natural e os mecanismos hidrogeoquímicos que controlam a presença deste elemento no sistema rocha-água. A cidade de Urânia foi selecionada para estudo por apresentar um dos maiores e mais persistentes teores deste elemento na região.

Para atingir estes objetivos foi executado um levantamento de fontes antrópicas potenciais de cromo e enfatizada a hidrogeoquímica das zonas não-saturada e saturada com detalhe. Os ensaios na zona não-saturada basearam-se na coleta de amostras de solo e sedimento para análises macroscópica, granulométrica, química, mineralógica e extração sequencial. Para o estudo na zona saturada foram cadastrados poços tubulares e cacimbas de Urânia, definido o modelo conceitual de circulação das águas subterrâneas, amostradas e analisadas as águas destes poços.

Através dos resultados obtidos pode-se comprovar que a origem do cromo nas águas subterrâneas de Urânia é natural, proveniente da dissolução de minerais cromíferos (cromita, espinélio, hematita, ilmenita, magnetita, rutilo e ulvoespinélio) dos solos e sedimentos da Formação Adamantina. Estes minerais estão associados à fração grossa ($> 635\ mesh$), na qual foram detectados teores de cromo variando de 1.475 a 7.704 ppm. A extração sequencial comprovou que o cromo é proveniente de minerais primários, sendo que nos solos da área de pesquisa está associado aos materiais residuais e minerais silicáticos. A baixa capacidade de adsorção de cromo na fase sólida, permite que o íon se mantenha na fase líquida. O modelo de equilíbrio químico utilizado-MINTEQA2 (Versão 4.0) mostrou que os ambientes hidroquímicos mais alcalinos da área de estudo são propícios à dissolução de minerais portadores de cromo. As elevadas concentrações de cromo nos poços tubulares (profundos) em relação aos cacimbas (rasos) são decorrentes do maior tempo de contato água-rocha, oferecendo melhores condições para o equilíbrio químico entre os minerais e a solução percolante e permitindo sua passagem para o meio líquido.

ABSTRACT

Anomalous chromium contents, sometimes exceeding the maximum limit permitted for human consumption (0.05 mg/L) have been detected in groundwaters of at least 53 cities of northwestern São Paulo State.

This research aimed at defining if the origin of chromium in Urânia groundwaters was anthropic or natural, and the hydrogeochemical mechanisms that control the presence of the element in the rock-water system. Urânia city was selected for the study due to its highest and most persistent contents of chromium in the region.

To achieve these objectives a survey of potential anthropic Cr sources was carried out and the hydrogeochemistry of the non-saturated and saturated zones was studied in detail. The tests in the non-saturated zone were based on soil and sediment sample collecting for macroscopic, granulometric, chemical, mineralogical and sequential extraction analyses. To investigate the saturated zone Urânia tubular wells and shallow dug wells were catalogued, a conceptual groundwater circulation model was defined and the water from these wells sampled and analysed.

The data show that the origin of chromium in Urânia groundwaters is natural, resulting from dissolution of Cr-bearing minerals (chromite, spinel, hematite, ilmenite, magnetite, rutile and ülvo-spinel) in soils and sediments of the Adamantina Formation. These minerals are found in the coarse fraction (> 635 mesh), where Cr contents from 1,475 to 7,705 ppm were detected. The sequential extraction analysis proved that chromium came from primary minerals and it is associated with residual materials and silicatic minerals in soils of the study area. The low Cr absorption capacity of the solid phase maintains the ion in the liquid phase. The chemical equilibrium model used – MINTEQA2 (4.0 version) showed that the more alkaline hydrochemical environments of the study area are favourable for the dissolution of Cr-bearing minerals. The high Cr concentrations in (deep) tubular wells in relation to shallow dug wells result from a greater water-rock interaction time, allowing better conditions of chemical equilibrium between minerals and percolating solutions and its exchange with the liquid medium.

AGRADECIMENTOS

Esta tese é o resultado da ajuda valiosa de entidades e pessoas às quais desejo manifestar minha profunda gratidão.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP) pelo apoio no decorrer do trabalho. Aos departamentos de Geologia Sedimentar e Ambiental (GSA) e Mineralogia e Geotectônica (GMG) e ao Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (Cepas).

Ao Prof. Dr Ricardo C. A. Hirata por sua orientação, estímulo e toda assistência prestada.

Aos professores doutores do IGc-USP pelas discussões relevantes ao tema e contribuição durante os estudos: Armando M. Coimbra (*in memorian*), Ciro T. Correa (GMG), Gianna M. Garda (GSA), João B. Moreshi (GSA), Joel B. Sígolo (GSA), Jorge S. Bettencourt (GMG), José Milton B. Mendes (*in memorian*), Lilia M. Sant'Agostino (GSA), Paulo C. F. Giannini (GSA), Silvio R. F. Vlach (GMG), Uriel Duarte (GSA) e Valdecir A. Janasi (GMG).

Aos funcionários do IGc-USP pelo auxílio prestado: Ana Paula Cabanal (Secretaria da Pós-graduação), Elaine A. Sinfrônio (Laboratório de Sedimentologia-GSA), Flávio M. S. Carvalho (Laboratório de Difractometria de Raios X-GMG), Isaac Jamil Sayeg (Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura-GSA), Janaina (Laboratório de Hidrogeoquímica III-Cepas) João Victor Mashí (Apoio à Projeto-GSA), José Paulo Sertek (Laboratório de Tratamento de Amostras-GMG), Juliana M. P. Palmeira (Laboratório de Química e ICP-AES-GMG), Lourdes Marques (Secretaria-Cepas), Lúcia Helena da Silva (Laboratório de Hidrogeoquímica II-Cepas), Magali P. F. Rizzo (Secretaria da Pós-graduação), Maristela Prestes Severino (Biblioteca), Mauro Marcos Lopes (Seção de transportes-motorista), Paulo Ernesto Mori (Laboratório de Fluorescência de Raios-X-GMG), Pedro Carlos Pocciotti (Laboratório de Informática Geológica-LIG-GSA), Sandra Andrade (Laboratório de Química e ICP-AES-GMG), Sérgio Ataíde Martins (Laboratório de Atividades de Campo-Cepas), Valter Corrêa Leite (Assessoria Técnica-Cepas), Verônica Gabriel Santos (Laboratório de Impregnação de Amostras-GSA), funcionários do Laboratório de Laminação e da Gráfica.

Aos companheiros de trabalho por toda cooperação: Afonso C. R. Nogueira, Alessandro Cesarino, Ana Lúcia O. Berreta, Angélica S. Gutierrez, Carbeny R. M. Capote, Célia A. Surita, Cláudia L. Varnier, Cláudio P. Florêncio, Douglas Bastianon,

Fabiola M. Rossato, Iraldo Braggion Junior, Jamile Dehaini, Jeane Gláucia Santos, Lucy Gomes Sant'Anna, Luiz C. Ferrari, Manoel C. T. F. Godoy, Maria Anísia C. Pereira, Murilo A. Valle, Nilson P. Teixeira, Reginaldo A. Bertolo, Sônia A. Nogueira e Valquíria de Campos.

À Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) que colaborou para a obtenção de dados e desenvolvimento dos trabalhos de campo. Em especial a Antonio Rodrigues da Grella Filho, *da Lua* (Jales), Sérgio Donizete Giovanini e funcionários (Urânia).

Aos órgãos que contribuíram através de financiamentos e fornecimento de bolsa de estudo: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP-processo 97/13879-6) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Ao Prof. Dr. Henrique Kahn e funcionários do Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da USP.

Ao Pedro Orange pela dedicação, paciência e sugestões durante a redação da tese.

Por fim, agradeço imensamente a todos que contribuíram para a realização desta pesquisa.

1. INTRODUÇÃO

1.1. RELEVÂNCIA DO TEMA

A ocorrência de cromo nas águas subterrâneas do noroeste paulista tem se tornado uma grande preocupação à saúde pública, uma vez que 80 a 90 % das cidades são abastecidas total ou parcialmente pelos recursos hídricos subterrâneos, atendendo a uma ampla demanda, como o uso urbano, rural e industrial.

A anomalia de cromo tem sido detectada desde 1977 na água subterrânea do município de Urânia. Atualmente sabe-se que estes teores anômalos são encontrados em águas de poços de outras cidades da região, algumas vezes, ultrapassando o valor máximo permissível para o consumo humano, que é de 0,05 mg/L como cromo total (Portaria 36, do Ministério da Saúde, de 19-01-1990 e Organização Mundial da Saúde).

Os teores anômalos de cromo encontrados em Urânia, apesar de não serem alarmantes, podem comprometer a saúde da população. Como solução, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), responsável pelo abastecimento de água da cidade, desativou todos os seus poços tubulares profundos, que serviam ao abastecimento da zona urbana e passou a utilizar a água do Sistema Aquífero Guarani (Botucatu), aduzida do município de Jales.

Alguns autores advogam que a origem do cromo nas águas subterrâneas do noroeste paulista pode ser natural. HIRATA & RODOLFI (1993) definiram que o Cr (VI) ocorre distribuído de forma ampla nos municípios de Urânia, Santa Salete e Aspásia. As maiores concentrações deste elemento foram encontradas em águas de poços tubulares de maior profundidade e não foram detectados em águas de poços cacimbas. Os autores, através de entrevistas e visitas expeditas à área, não encontraram indícios de atividades potencialmente contaminantes.

Outro fato notável é que teores anômalos de cromo nas águas subterrâneas ocorrem em uma ampla área da região noroeste do Estado de São Paulo, não se restringindo a zonas preferenciais. Pesquisas realizadas por ALMODOVAR (1995) e ALMODOVAR & PACHECO (1995) caracterizaram que a anomalia de cromo total na água subterrânea estendia-se por pelo menos 53 cidades e determinaram altas concentrações do elemento nos sedimentos de Urânia. Tais pesquisas não indicaram, entretanto, a origem exata do problema.

A partir deste quadro se evidencia a necessidade de definir a origem do cromo nas águas subterrâneas. Agrega-se a isso o fato de que a origem é de grande interesse acadêmico, pois o cromo, apesar de frequente nas rochas e solos, ocorre raras vezes de forma não antrópica na água subterrânea (HEM, 1985).

1.2. OBJETIVOS

São objetivos básicos desta pesquisa:

- Definir a origem do cromo nas águas subterrâneas na cidade de Urânia;
- Estabelecer os mecanismos hidrogeoquímicos que controlam a presença de cromo, ou seja, os fatores que afetam a partição do cromo no sistema rocha-água subterrânea.

2. O CROMO NA NATUREZA

2.1. GENERALIDADES

O cromo é um metal de transição do Grupo VIB da Tabela Periódica. Possui número atômico 24 e peso atômico 51,996. Dos cinco radioisótopos conhecidos, o ^{51}Cr (meia vida 27,8 dias) é mais comumente usado em trabalhos experimentais.

O elemento ocorre no meio ambiente nos estados de oxidação +3 e +6, sendo o Cr^{3+} mais estável. O raio iônico do Cr^{6+} varia de 0,052-0,053 nm e o valor para o Cr^{3+} é de 0,064 nm. O Cr^{3+} pode ser substituído pelo ferro, que tem raio iônico de 0,067 nm.

O cromo é de grande importância econômica, devido ao seu múltiplo uso industrial, destacadamente na metalúrgica (cromagem de metais, fabricação de aço), na fabricação de produtos refratários (tijolos para revestimento de fornos metalúrgicos) e na indústria química (curtimento de couros, manufaturas de tintas e corantes).

O cromo não é oxidado pelo ar, mesmo em presença de alta umidade. Apresenta moderada expansão térmica e estabilidade de estrutura cristalina.

Este metal pode ser encontrado no meio ambiente de forma ampla e com concentrações irregulares no ar, material biológico, água, rocha e solo.

O cromo, devido a sua especiação, mostra diferentes comportamentos em organismos vivos. A forma trivalente tem baixa toxicidade, apesar de não terem sido estabelecidas doses limites. Já o cromo hexavalente é muito mais tóxico e não apresenta valor nutricional. Este pode ser absorvido por ingestão, inalação e através da pele, podendo causar ulcerações e eczemas (AMARAL, 1985).

Muitos metais pesados têm valores nutricional, enzimático e terapêutico em pequenas concentrações; são germicidas, fungicidas e antissépticos em níveis intermediários, mas tornam-se tóxicos em concentrações mais altas. O cromo biologicamente ativo é importante para o homem no fator de tolerância da glicose (GODGUL & SAHU, 1995).

O câncer de pulmão tem sido reportado como resultado da respiração em ambientes com altos níveis de cromo hexavalente. Esta espécie na água em altas concentrações produz doenças gastro-intestinal e no fígado (VENITT & LEVY, 1974; NIEBOER & JUSYS, 1988 *apud* ARMIENTA & QUÉRÉ, 1995).

O cromo é o sétimo elemento mais comum na Terra, mas o vigésimo primeiro

em abundância nas rochas da crosta, com uma concentração média de 100 mg/kg de rocha. Rochas máficas e ultramáficas são ricas em cromo, contendo até 3.400 mg/kg. Os basaltos apresentam uma média de cromo de 200 mg/kg, os granitos 20 mg/kg, os folhelhos e argilas 120 mg/kg, os folhelhos negros 100 mg/kg, os calcários 10 mg/kg e os arenitos 35 mg/kg (McGRATH, 1995).

A adição deste metal ao solo se faz através de vários veículos, como o ar atmosférico (emissões de forno elétrico na siderurgia), a água (polimento de metais), diretamente (cinzas de combustão do carvão, adubos fosfatados e calcários, lodo de esgoto), entre outros. A concentração de cromo no solo pode ser determinada pelo material de origem. Solos derivados de rochas básicas, ultrabásicas e folhelhos podem conter teores elevados deste elemento.

2.2. O CROMO NOS SOLOS

O cromo pode ocorrer naturalmente nos solos e suas maiores concentrações são encontradas naqueles originários de basaltos e serpentinitos. Na maioria dos solos o teor total de cromo está situado entre 5 e 1.000 mg/kg, sendo, geralmente, menor do que 100 mg/kg. O teor médio mundial é considerado como sendo 50 mg/kg.

TEIXEIRA (1981), em sua revisão bibliográfica, descreve que os teores de cromo nos solos não-contaminados são muito variáveis. Em solos dos E.U.A. foi encontrado o valor de 37 mg/kg como a moda de 863 amostras. Em New Jersey, os teores de cromo nos solos variaram de 20 a 75 mg/kg; no Canadá de 20 a 125 mg/kg; na Escócia de 300 a 3.500 mg/kg e na Inglaterra, na região de Lancashire, de 32 a 76 mg/kg.

Na faixa de pH e Eh normalmente observada em solos agrícolas, o cromo pode ser encontrado nos estados de oxidação III (Cr^{3+} , CrO_2^-) e VI ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ e CrO_4^{2-}) (BARTLETT & KIMBLE, 1976a).

O solo é um sistema heterogêneo e quimicamente complexo, onde grande número de reações ocorrem simultaneamente, podendo ser concorrentes ou aditivas à reação de oxidação de Cr (III) a Cr (VI). São exemplos de reações concorrentes com a oxidação de Cr (III): a dissolução redutiva de óxidos de manganês por oxidação de compostos orgânicos (poluentes fenólicos), a formação de complexos orgânicos estáveis com o Cr (III) adicionado ao solo (indisponível como doador de elétrons) e a redução do Cr (VI) formado no solo por oxidação de compostos orgânicos (promovendo

a dissolução redutiva de óxidos de manganês facilmente reduzíveis) (TREBIEN, 1994).

2.2.1. Cromo (III)

Na maioria dos solos aráveis, a presença de Cr (III) é mais favorável do que a de Cr (VI) e o cátion Cr^{3+} é a forma de Cr (III) predominante nos solos.

BARTLETT & KIMBLE (1976a) observaram que com o aumento do pH, a solubilidade do Cr (III) no solo aumenta e, em valores próximos a 5,5, ocorre completa precipitação. Como exemplos de ligantes que podem reter o Cr (III) na solução em pH acima de 5,5 podem-se citar: o ácido cítrico, o ácido dietilenotriamina pentaacético (DTPA), o ácido fúlvico e a matéria orgânica solúvel de solo seco ao ar. Estes complexos orgânicos estão presentes de forma natural no solo e também podem ocorrer em lodo de esgoto, esterco animal e água residuária industrial (JAMES & BARTLETT, 1983).

A adsorção de Cr^{3+} aumenta com a adição de fosfatos e com a elevação do pH e os complexos de Cr (III) caracterizam-se por sua baixa velocidade de troca de ligantes, sendo considerados cineticamente inertes.

2.2.2. Cromo (VI)

O Cr (VI) é muito instável nos solos e é facilmente mobilizado, tanto em condições alcalinas como em ácidas. Os ânions de Cr (VI) competem com os demais ânions da solução do solo por locais de troca na superfície de óxidos ou outros colóides de carga superficial positiva. O CrO_4^{2-} e HPO_4^{2-} possuem comportamento similar quanto a adsorção. O HCrO_4^- e o H_2PO_4^- também são adsorvidos de forma similar, porém são retidos com menor intensidade. Os íons Cr (VI) também podem ser adsorvidos em superfícies de óxidos de Fe (III) e Al (III) por mecanismo de troca de ligantes.

No subsolo, o Cr (VI) é reduzido pelo Fe (II) contido nos minerais; posteriormente é hidrolizado e precipitado na forma de hidróxido.

TEIXEIRA (1981) observou que a adsorção do Cr (VI) em caulinita e montmorillonita diminui com o aumento do pH, sendo nula em valores próximos a 8,5. Concluiu que a montmorillonita adsorve 2 a 3 vezes mais que a caulinita e que este mecanismo, nos dois casos, é dependente da concentração de HCrO_4^- em solução. No

mesmo trabalho, ficou evidenciado que a adsorção de Cr (VI) em relação a Cr (III) foi relativamente baixa, mesmo em condições ácidas onde a adsorção de Cr (VI) se torna mais efetiva.

2.2.3. Oxidação e redução

BARTLETT & JAMES (1979) mostraram que em muitas amostras de solo úmido recém coletadas, a oxidação de Cr (III) a Cr (VI) ocorre facilmente nas condições de umidade predominante no campo. Também confirmaram que a oxidação de Cr (III) está intimamente correlacionada com a redução de óxidos de Mn (III / IV), que atuam na reação como receptores de elétrons. Estes autores afirmaram que a oxidação do cromo não foi detectada anteriormente devido ao uso de amostras de solo previamente secas, peneiradas e rehidratadas por ocasião da instalação dos experimentos. A secagem do solo, por promover a redução dos óxidos de Mn facilmente reduzíveis, neutraliza a capacidade do solo de oxidar o Cr (III). Em solos com elevado teor de óxidos de manganês, foi constatada a possibilidade do Cr (III), forma relativamente estável, ser oxidada à forma de Cr (VI), de grande mobilidade no solo. Porém, a redução de Cr (VI) no solo pode ser aumentada com a presença de matéria orgânica (CARRY *et al.*, 1977; BARTLETT & KIMBLE, 1976b).

2.2.4. Ocorrência e comportamento dos óxidos de manganês no solo

Os óxidos de manganês geralmente constituem menos de 1% dos minerais do solo e, devido à sua superfície muito reativa, possuem alta capacidade de adsorção de metais pesados.

A grande eficiência dos óxidos de manganês em adsorver cátions de metais pesados é atribuída à sua elevada área superficial específica (280 a 530 m² por grama) e ao baixo ponto de carga zero (PCZ).

McKENZIE (1989) afirma que a afinidade de adsorção de metais pesados em óxidos de manganês, em geral, segue a seguinte ordem: Pb>Cu>Mn>Co>Zn>Ni. Entretanto, o cromo não consta nesta relação de afinidade de adsorção de cátions pela superfície de óxidos de manganês, mas pode ser encontrado em misturas com óxidos de Fe (III). Isto pode ser explicado pela rápida oxidação do cromo quando adsorvido em óxidos de manganês. Neste processo, o Mn (III/IV) é reduzido e liberado para a

solução do solo, assim como o Cr (VI).

A solubilização, mobilização e precipitação dos óxidos de manganês dependem das condições redutoras ou oxidantes do ambiente. A redução dos óxidos de manganês é mais comum em condições anaeróbias, como ocorre em solos alagados, onde é catalizada por microorganismos anaeróbios que utilizam os óxidos de manganês como receptores de elétrons na presença de compostos orgânicos. No entanto, a redução dos óxidos de manganês também é possível em condições oxidantes, por oxidação química de compostos orgânicos durante o processo de secagem de amostras de solo, por exemplo.

FERDORF *et al.* (1994) propuseram investigar o mecanismo de sorção do alumínio na superfície do manganês e seus efeitos sobre a oxidação do Cr (III). Concluíram que o alumínio não influencia a oxidação do Cr (III), somente em valores de pH < 4,0, e que, reagindo alumínio com manganês antes da introdução do Cr (III), resultou em menor oxidação do que quando ambos, alumínio e Cr (III), foram adicionados simultaneamente para reagir com manganês.

A reação de oxidação do Cr (III) no solo ocorre na interface do sólido com a solução, de acordo com o seguinte mecanismo: (a) formação de um complexo precursor caracterizado pela adsorção de Cr (III) à superfície de óxidos de Mn (III/IV); (b) transferência de elétrons do Cr (III) para Mn(III/IV), formador do complexo sucessor, com Mn (II) e Cr (VI) e (c) ruptura do complexo sucessor, com liberação de Cr (VI) e Mn (II) para a solução do solo (TREBIEN, 1994).

2.3. O CROMO NOS MINERAIS

Os minerais mais conhecidos que podem conter cromo, encontram-se na Tabela 1.

McGRATH (1995) descreve que o cromo (III) pode substituir o Fe^{3+} e o Al^{3+} em muitos minerais, resultando em turmalinas de cromo, granadas, micas e cloritas. Quantidades traço de cromo dão cores a alguns minerais, como o verde da esmeralda

Tabela 1: Minerais que podem conter cromo.

GRUPO	MINERAL	COMPOSIÇÃO (%)	SUBSTITUIÇÕES	PARAGÊNESE
Espinélio (AB ₂ O ₄)	Espinélio ^(a) (MgAl ₂ O ₄)	MgO-28,2; Al ₂ O ₃ -71,8	Fe ²⁺ , Zn e Mn ↔ Mg Fe ³⁺ e Cr ↔ Al	Cálcários cristalinos, gnaisses e serpentina. Em rochas ígneas escuras. Associado a flogopita, pirrotita, condrodita e grafita.
	Hercinita ^(b) (Fe ²⁺ Al ₂ O ₄)		Fe ²⁺ ↔ Mg Al ↔ Fe ³⁺ Al ↔ Cr	Sedimentos argilosos metamorfizados, rochas eruptivas básicas e ultrabásicas, piroxenitos metamórficos e associações granulíticas ácidas
	Magnetita ^(a) (Fe ²⁺ Fe ³⁺ ₂ O ₄)	O-27,6; Fe-72,4 Pode conter cromo ^(c)		Como mineral acessório em rochas magmáticas. Associada a dioritos, gabros e peridotitos. Nas areias pretas das praias.
	Magnesiocromita ^(b) (MgCr ₂ O ₄)		Fe ²⁺ ↔ Mg Cr ↔ Al e Fe ³⁺	Rochas eruptivas, complexos ultramáficos, areias detríticas de cursos de águas e praias e meteoritos
	Cromita ^(a) (Fe ²⁺ Cr ₂ O ₄)	FeO-32; Cr ₂ O ₃ -68	Mg ↔ Fe ²⁺ Al e Fe ³⁺ ↔ Cr são conhecidas cromitas com Zn ^(b)	Peridotitos e serpentinitos. Associada a olivina, serpentina e corindon. É o único minério de cromo.
Granadas A ₃ B ₂ (SiO ₄) ₃	Uvarovita ^(a) [Ca ₃ Cr ₂ (SiO ₄) ₃] Pode conter cromo ^(c)			Mica xistos, hornblenda xistos e gnaisses. Diques de pegmatitos. Na serpentina, associada à cromita. Nas areias de rios e mares.
	Crocoíta ^(a) (PbCrO ₄)	PbO-68,9; CrO ₃ -31,1		Mineral raro, encontrado nas zonas oxidadas dos depósitos de chumbo. Associada a piromorfita, cerussita e wulfenita.
	Ilmenita ^(a) (FeTiO ₃)	Fe-36,8; Ti-31,6 e O-31,6 Pode conter cromo ^(c)	Mg e Mn ↔ Fe ²⁺	Em camadas e massas lenticulares encaixada no gnaiss. Associada com a magnetita, rutilo, zircão e monazita.
Montmorillonita (Al,Mg) ₈ (Si ₄ O ₁₀) ₄ (OH) ₈ .12H ₂ O	Montmorillonita ^(d)		Al ↔ Fe ³⁺ , Mg, Zn, Li, Cr ³⁺ , Mn e Ni Si ↔ Al	É o mineral argiloso predominante na bentonita, cinza vulcânica alterada.
Piroxênios XYZ ₂ O ₆	Diopsídio ^{(a)(e)} [CaMg(Si ₂ O ₆)]	CaO-25,9; MgO-18,5 e SiO ₂ -55,6; Cr ₂ O ₃ -1,2 ^(d)	Mg ↔ Fe ²⁺	Mineral metamórfico, calcários cristalinos. Associado à tremolita, escapolita idocrásio, granada e titanita
	Augita ^(a) [(Ca,Na)(Mg,Fe,Al) (Si,Al) ₂ O ₆]	Cr ₂ O ₃ -1,2 ^(d)		Em rochas ígneas escuras, lavas basálticas, gabros e peridotitos. Associada ao ortoclásio feldspatos, nefelina, olivina, leucita, magnetita

Referências

^(a) DANA (1986)^(b) DEER *et al.* (1966)^(c) ALLOWAY (1995)^(d) MASON & MOORE (1982)^(e) KLEIN & HURLBUT (1993)

e o vermelho do rubi (óxido crômico).

De acordo com DEUTSCH (1997), minerais de Cr (VI) são relativamente solúveis e podem ser encontrados em locais com alta contaminação por cromato. Sob estas condições, é possível se formar a hashemita (BaCrO_4).

A substituição $\text{Al} \leftrightarrow \text{Cr}$ é contínua, havendo uma série completa de solução sólida entre a hercinita e a cromita. A designação *picotita* é utilizada para uma variedade de hercinita com quantidade apreciável de cromo, com $\text{Al} > \text{Cr}$ e com a relação Fe:Mg entre 3 e 1 (DEER *et al.*, 1966).

MATZAT & SHIRAKI (1970) separam os minerais de cromo hexavalente e trivalente da seguinte forma:

- **minerais com cromo hexavalente:** crocoíta $\text{Pb}[\text{CrO}_4]$, cromatita $\text{Ca}[\text{CrO}_4]$, tarapacaíta $\text{KK}[\text{CrO}_4]$, foenicocroíta $\text{Pb}_2\text{O}[\text{CrO}_4]$, vauquelinita $\text{CuPb}_2(\text{OH})[\text{CrO}_4][\text{PO}_4]$, fornacita $(\text{Cu,Fe})\text{PbPb}(\text{OH})[\text{CrO}_4][(\text{Pb,As})\text{O}_4]$ e hemihedrita $\text{ZnPb}_6\text{Pb}_2\text{Pb}_2\text{F}_2[\text{CrO}_4]_6[\text{SiO}_4]_2$.

- **minerais com cromo trivalente:** eskolaíta Cr_2O_3 , grimaldiíta CrOOH , mcconnellita CuCrO_2 , cromita FeCr_2O_4 , ureyita $\text{NaCr}[\text{Si}_2\text{O}_6]$, daubréelita FeCr_2S_4 e brezinaíta Cr_3S_4 .

2.4. O CROMO NAS ÁGUAS

A presença de cromo nas águas subterrâneas está normalmente associada à contaminação de origem antrópica. A ocorrência natural do elemento em concentrações acima das normas de potabilidade da água é bastante rara. Raras também, são as referências bibliográficas especializadas sobre o assunto, necessárias para uma melhor avaliação comparativa com esta pesquisa. A seguir são citados alguns exemplos de origem natural de cromo: ROBERTSON (1975) descreve o caso do Paradise Valley (Arizona, E.U.A.), onde as concentrações de cromo em águas de um aquífero livre variam de 0,1 a 2,0 mg/L. Embora o autor não tenha estabelecido a origem primária do cromo, entende-se que este elemento esteja associado aos minerais de argila, cuja área-fonte não é reconhecida.

SZIKSZAY (1981), no estudo das fontes de Águas da Prata (SP), encontrou teores de cromo total de 0,014 a 0,3 mg/L em águas provenientes de rochas vulcânicas e ultrabásicas, e valores de 0,019 a 0,3 mg/L, nas águas provenientes de arenitos.

ARMIENTA & QUÉRÉ (1995) estudaram a contaminação da água subterrânea por cromo, no Leon Valley, México Central, detectada em 1975. A poluição do aquífero

é devido principalmente a três fontes, duas antropogênicas e uma natural. A origem natural está associada a um importante complexo de rochas ultramáficas, onde ocorrem processos de intemperismo dos piroxenitos.

HEM (1985) cita que concentrações de cromo em águas de rios não-contaminados são normalmente menores do que 0,01 mg/L. DURFOR & BECKER (1964) reportam concentrações menores do que 0,00043 mg/L nas águas de abastecimento público e de 0,0058 mg/L nos rios dos E.U.A. Segundo LOVE (1967), poucas águas de fontes naturais contêm cromo. Estas águas podem provavelmente contê-lo somente como elemento traço.

Nas águas subterrâneas o cromo pode estar presente em dois estados de oxidação, trivalente e hexavalente. Por possuir propriedades tóxicas, a concentração máxima de cromo nas águas utilizadas para consumo humano é 0,05 mg/L para cromo total. Este valor está de acordo com os padrões de potabilidade brasileiros (Portaria 36, do Ministério da Saúde, de 19-01-90). O Decreto Estadual 12.486 de 20-10-78 coloca que o valor máximo de cromo hexavalente nas águas subterrâneas, também deverá ser 0,05 mg/L. A Organização Mundial da Saúde (OMS) e os principais países do mundo, como os da Comunidade Econômica Européia, o Canadá e os Estados Unidos da América também adotam este valor (CETESB, 1994).

2.4.1. Geoquímica do cromo

Um dos aspectos importantes do cromo refere-se a sua mobilidade em subsuperfície que é função dos tipos de complexos formados em solução, da solubilidade de suas espécies, da capacidade de adsorção do cromo pelo material do aquífero e da zona não-saturada.

2.4.1.1. Solubilidade do cromo como função do pH e Eh

A solubilidade de um elemento ou mineral na água é controlada em parte por fatores como temperatura, pressão, concentração do íon hidrogênio (pH) e pelo potencial redox (potencial de oxi-redução ou Eh). A temperatura e pressão têm somente um pequeno efeito na solubilidade mineral sob muitas condições de águas subterrâneas (HEM, 1970 *apud* ROBERTSON, 1975). O pH, porém, tem um grande efeito na presença e mobilidade dos elementos. A solubilidade de alguns elementos

também depende de seu estado de oxidação, que é determinado pelo Eh do ambiente, uma medida da intensidade das condições de oxidação ou redução. O cromo, por exemplo, é pouco solúvel e pouco móvel no estado trivalente, mas torna-se solúvel quando oxidado ao estado hexavalente. A ocorrência de cromo nas águas subterrâneas pode ser melhor entendida através da interpretação do diagrama de Eh-pH.

Estes diagramas são construídos com base em equações químicas e propriedades termodinâmicas. Dada uma reação na qual a substância A é convertida na substância B, e que pode ser escrita de tal forma que íons hidrogênio (H^+), moléculas de água e elétrons (e^-) estejam envolvidos, as leis de equilíbrio podem ser aplicadas para expressar a reação com duas variáveis independentes (GARRELS, 1960): pH, que determina a influência dos íons de hidrogênio e Eh, a influência de elétrons.

Tal reação pode ser escrita da seguinte forma:

onde A é o reagente, B o produto, n_{e^-} o número de elétrons cedidos, e a, w, b e m são as concentrações em moles ou íons-grama.

A equação de Nernst define a relação fundamental entre Eh e pH:

$$Eh = E_0 + \frac{RT}{nf} \ln [B]^b [H^+]^m / [A]^a [H_2O]^w \quad (2)$$

onde

Eh = potencial redox

R = constante universal dos gases

T = temperatura absoluta

n = número de elétrons cedidos

f = constante de Faraday

E_0 = potencial padrão dos reagentes, definido por $E_0 = \Delta G_R / nf$

onde ΔG_R = energia livre padrão da reação.

Relembrando que o pH é o logaritmo negativo da atividade do íon hidrogênio, e que a atividade da água e sólidos tem valor um, as variáveis significantes passam a ser Eh, pH e as atividades dos íons que estão sendo considerados. Devido a diferença entre a atividade (concentração termodinâmica) e concentração molar (concentração

real), os campos de estabilidade calculados representam a solubilidade mínima. Esta discrepância não é usualmente um problema sério quando se trata de águas com baixa concentração de elementos.

Os campos de estabilidade de várias espécies de cromo predominantes nas águas subterrâneas encontram-se na Figura 1. Nos sistemas naturais, o cromo pode ser encontrado nas formas trivalente e/ou hexavalente. Em condições de redução (Eh baixo) predominam espécies de Cr (III): Cr^{3+} , Cr OH^{2+} , Cr (OH)_2^+ , Cr (OH)_3^0 , Cr (OH)_4^- . Sob condições oxidantes (Eh alto) as espécies de Cr (VI) que podem existir são: HCrO_4^- e CrO_4^{2-} .

A concentração e a mobilidade do cromo nas águas subterrâneas estão diretamente relacionadas ao estado de valência dominante, que é controlado pelas características químicas e físicas das águas.

O cromo (III) geralmente não é transportado a grandes distâncias pela água subterrânea devido à sua baixa solubilidade. Porém ele poderia ser convertido para cromo (VI) se o estado de oxidação para um lugar particular for mudando com o tempo, de redutor para oxidante (BARTLETT & JAMES, 1979). Quando o cromo (VI) é transportado pela água subterrânea, pode ser transformado e precipitado como cromo (III), se a água entrar numa zona de baixo potencial redox.

2.4.1.2. Adsorção

A adsorção ocorre porque as espécies iônicas dissolvidas na água subterrânea são atraídas pelas superfícies dos minerais que constituem o aquífero, por possuírem uma rede de carga elétrica própria para substituições (FREEZE & CHERRY, 1979). A carga elétrica da superfície de um mineral varia com o pH. A carga de superfície é neutra para um ponto zero de carga (pH_{zpc}). Acima de pH_{zpc} a superfície está negativamente carregada e ocorre adsorção de cátion. Abaixo de pH_{zpc} , a superfície está positivamente carregada e ocorre adsorção de ânion.

HENDERSON (1994) expõe que a quantidade de cromo que será adsorvida

Figura 1: Diagrama de especiação do cromo em relação ao pH e Eh (CALDER, 1988).

pode ser descrita pelo coeficiente de partição (K_d), que relaciona o equilíbrio da concentração de cromo adsorvida pelos sedimentos do aquífero (C_s) sobre a concentração de cromo dissolvida na água subterrânea (C_w):

$$K_d = (C_s)/(C_w) \quad (3)$$

A partição do cromo entre a água subterrânea e o material do aquífero retarda a migração do íon em relação ao fluxo da água subterrânea. A retardação de substâncias em sistemas de água subterrânea é descrito pelo fator de retardação (R_F) que diz respeito à velocidade de fluxo da água subterrânea (V_w) sob a velocidade de migração da substância (V_{cr}):

$$R_F = V_w/V_{cr} \quad (4)$$

Este fator de retardação pode ser descrito pelo coeficiente de partição através

da densidade (ρ_b) e porosidade (n) do material do aquífero:

$$R_F = 1 + (\rho_b/n) K_d \quad (5)$$

Segundo STUMM & MORGAN (1981), íons positivamente carregados (tais como Cr^{3+} que é a espécie dominante de cromo (III) abaixo de um pH 4) são geralmente adsorvidos por argilominerais, que tipicamente têm alta capacidade de troca de cátion e baixo pH_{zpc} , na ordem de 2 a 2,5. A adsorção de Cr^{3+} por solos e argilas é geralmente muito alta, aumentando com o pH.

O cromo (III) é relativamente imóvel para um pH próximo de 4, devido à adsorção. Acima deste pH ele é também relativamente imóvel devido a sua baixa solubilidade.

Na forma aniônica (HCrO_4^- e CrO_4^{2-}) o cromo (VI) é atraído pelas superfícies carregadas positivamente tais como: ferro, manganês, óxidos e hidróxidos de alumínio. Estas substâncias comumente cobrem os materiais do aquífero e têm um alto pH_{zpc} de 6,7 a 8,5.

CALDER (1988) reportou que a adsorção de Cr (VI) por argilas, solos e materiais do aquífero é baixa a moderada sob pH próximo ao neutro, comumente encontrado nas águas subterrâneas. A adsorção do cromo (VI) decresce com o aumento do pH. Pouca ou nenhuma adsorção ocorre acima de um pH 8,5.

2.4.1.3. Agentes redutores

HENDERSON (1994), em sua revisão de literatura, indica os agentes redutores do Cr (VI) para Cr (III) no meio ambiente. A redução de Cr (VI) através do Fe (II) tem sido simulada no laboratório onde são respeitadas as condições ambientais das águas subterrâneas.

SCHROEDER & LEE (1975) demonstram que o Cr (VI) foi reduzido através do Fe (II) entre 5 e 30 minutos no laboratório, em um pH aproximadamente neutro e com concentrações representativas dos sistemas naturais. Os experimentos sugerem que ocorreu a seguinte reação:

Eles postularam que a reação do Cr (III) e hidróxido férrico precipitado

[3Fe(OH)_{3(am)}] poderia induzir a imobilização e acumulação do cromo dentro dos sedimentos.

HEM (1977), revisando a termodinâmica das reações das superfícies de oxihidróxidos de Fe, conclui que as concentrações de cromo nas águas naturais podem ser diminuídas através de reações químicas que envolvem processos de redução Fe (II)-Fe(OH)₃. Ferro dissolvido em equilíbrio com hidróxido férrico amorfo [Fe (OH)_{3 (am)}; produto de solubilidade = 10^{-38,2}] pode existir em ambos estados na solução, Fe (II) e Fe (III), como representado pela seguinte equação:

Ele concluiu que nos sistemas de águas subterrâneas, onde o ferro é abundante, o cromo tende a ser imóvel.

STOLLENWERK & GROVE (1985) realizaram simulações no laboratório sobre a adsorção e desorção de Cr (VI) em aquíferos sedimentares aluviais. Evidências visual e química indicaram que Fe (II) que cobria com oxihidróxidos os grãos do aquífero foi responsável pela adsorção de Cr (VI). Eles observaram que sendo suficiente o tempo de contato, o Cr (VI) adsorvido tornava-se fixo no material aluvionar. A redução de Cr (VI) para Cr (III), seguida pela precipitação de Cr (OH)_{3 (am)}, foi sugerida como um possível mecanismo de reação.

EARY & RAI (1989) reportaram que quantidades residuais de Fe (II) no intemperismo da hematita ou biotita podem atuar como agentes redutores de Cr (VI) na solução. A redução de Cr (VI) ocorreu na solução, resultando na precipitação de (Cr, Fe) (OH)₃ e limitando a concentração de Cr dissolvido para menos de 0,05 mg/L. A redução de Cr (VI) ocorreu frequentemente na presença de oxigênio.

BARTLETT & KIMBLE (1976 b) observaram a redução de Cr (VI) sob condições aeróbicas e pH neutro, pela matéria orgânica, dentro de várias semanas. Nenhuma redução foi observada em solos isentos de carbono orgânico.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

O município de Urânia, com área territorial de aproximadamente 400 km², localiza-se na região noroeste do Estado de São Paulo. Foi selecionado para esta pesquisa por apresentar uma das maiores e mais persistentes concentrações de cromo nas águas subterrâneas. O estudo foi restrito ao perímetro urbano, que apresentou uma quantidade significativa de poços, não enfocando as áreas rurais.

A cidade limita-se com Jales, Santa Albertina, Santana da Ponte Pensa e Palmeira D'Oeste. Urânia dista 595 km de São Paulo, sendo que o acesso à área pode ser feito a partir da capital, pelas Rodovias Anhanguera (SP 330) até Limeira (ou pela Bandeirantes até Campinas), seguindo pela Washington Luiz (SP 310) até Mirassol e, continuando pela Euclides da Cunha (SP 320) (Figura 2).

3.2. ASPECTOS FISIOTERMOTOLÓGICOS

Segundo IPT (1981a e 1997), a região de pesquisa está inserida na Bacia Vulcano-Sedimentar do Paraná, representada por uma complexa fossa tectônica encravada no escudo pré-cambriano. Esta bacia encontra-se preenchida por sedimentos continentais, alguns marinhos e lavas basálticas.

O município de Urânia está localizado no Planalto Ocidental Paulista. Este abrange uma área de aproximadamente 50% do Estado de São Paulo. Mais especificamente, Urânia situa-se dentro da unidade geomorfológica denominada de Planalto Centro Ocidental.

O planalto é composto por rochas do Grupo Bauru, que é constituído por formações predominantemente areníticas, sendo que em algumas regiões encontram-se cimentadas por carbonato de cálcio. Os basaltos afloram nos vales dos principais rios em ocorrências descontínuas, exceto no Paranapanema e no Pardo.

A região é delimitada por grandes rios, como: o Grande a norte, São José dos Dourados e Tietê a sul e Paraná a oeste. A drenagem regional é organizada na maior

parte por rios consequentes, que apresentam cursos paralelos e seguem o sentido de mergulho das camadas. Este traçado é seguido pelos rios Turvo, Preto, São José dos Dourados e Tietê. Os afluentes mantêm traçados perpendiculares aos primeiros, isto é, subsequentes.

Esta rede de drenagem mostra um acentuado paralelismo de eixos alinhados para noroeste. Os rios foram condicionados em grande parte por estruturas presentes no substrato basáltico e por seus reflexos na cobertura sedimentar. Outras características da drenagem são corredeiras e cachoeiras, nos rios de maior porte, formados a partir de soleiras de rochas basálticas. Algumas destas quedas d' água foram aproveitadas para a implantação de usinas hidrelétricas.

O relevo regional é constituído por colinas amplas e baixas. As altimetrias variam de 400 a 700 metros e as declividades médias das vertentes estão entre 2 e 10%. Os solos da região são classificados como argilossolos vermelho-amarelos (ou podzólicos vermelho-amarelos). São superficialmente arenosos com nítida diferenciação textural entre os horizontes A e B, apresentando sub-horizonte A2 e transição abrupta a clara entre os horizontes (EMBRAPA & IAC, 1999).

A cidade de Urânia possui uma altitude que varia entre 430 e 470 metros acima do nível do mar. A drenagem é representada pelos córregos Comprido e do Matadouro.

Segundo CRUZ & FERREIRA (1993), a região de estudo é recoberta por um espesso manto de solos transportados do retrabalhamento do Grupo Bauru. São solos bastante arenosos, com elevadas resistência ao cisalhamento, baixa deformabilidade e permeabilidade. Estes solos não ocupam toda a região, sendo que nas calhas dos rios normalmente afloram solos residuais de arenito, basalto e diabásio.

O DAEE (1976) descreve que o clima da área de estudo pode ser definido como tropical úmido até sub-tropical úmido, Aw até Cwa segundo a classificação de Köppen.

Na região de pesquisa a temperatura segue um ritmo normal de clima tropical, com duas estações bem definidas: uma quente, com médias mensais acima de 20°C (outubro/março) e outra com temperaturas abaixo de 19°C (abril/setembro). A percentagem de umidade relativa regional é maior nos meses de janeiro a março, atingindo o valor de 70%. Nesta região, domina a massa equatorial continental e a continental tropical e, em segundo plano, as massas polares. Os índices pluviométricos anuais variam em torno de 1.100 a 1.250 mm. A distribuição das chuvas não é homogênea, concentrando-se no período de outubro a março, sendo que o período de abril a setembro apresenta acentuada escassez.

O posto pluviométrico de Urânia (B7-006 do Departamento de Águas e Energia Elétrica-DAEE), registrou no período de 1959 a 1999 que os meses de dezembro, janeiro e fevereiro apresentaram as maiores alturas médias de chuvas (196, 234 e 179 mm, respectivamente). Nos meses de julho, agosto e setembro ocorreram as menores médias (30, 16 e 17mm, respectivamente). A pluviometria média anual no município de Urânia foi de 1.271 mm.

3.3. GEOLOGIA

A área de estudo está situada na Bacia Vulcano-Sedimentar do Paraná. Esta bacia localiza-se na região mais desenvolvida do Brasil e a água contida em seus aquíferos do Mesozóico é considerada um recurso estratégico.

No domínio regional afloram as rochas sedimentares da Formação Adamantina, do Grupo Bauru (Cretáceo Superior). Sob elas, ocorrem os basaltos da Formação Serra Geral, do Grupo São Bento (Juro-Cretáceo). Essa sequência pode ser observada nos perfis litológicos dos poços tubulares perfurados na região. No topo da sequência, de forma localizada, ocorrem as coberturas cenozóicas.

A Figura 3 ilustra a distribuição das formações do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. Em trabalhos mais recentes (FERNANDES, 1998), o Grupo Bauru recebeu uma nova proposta de divisão estratigráfica. No entanto, a maior parte da bibliografia referente ao assunto utiliza a denominação mais antiga, que será respeitada na presente pesquisa.

3.3.1. Grupo São Bento

É constituído pelas formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral. O nome São Bento foi proposto por WHITE (1908 *apud* IPT, 1981b) para um pacote de sedimentos arenosos, vermelhos, recobertos pelas eruptivas da Formação Serra Geral.

Figura 3: Distribuição do Grupo Bauru no Estado de São Paulo (IPT, 1981b).

3.3.1.1. Formação Serra Geral

Esta formação é representada por um conjunto de derrames de basaltos anteriormente acreditados como de natureza toleítica e atualmente reconhecido como uma cobertura basáltica de natureza variada de termos ácidos e básicos (RAPOSO, 1992).

O IPT (1994) afirma que na região de São José do Rio Preto os derrames basálticos apresentam espessuras muito variáveis. A seção típica de um derrame de lava basáltica compreende uma zona de disjunção horizontal na base, uma zona intermediária com fraturamento predominantemente vertical, uma zona de disjunção horizontal superior e uma zona vesículo-amigdaloidal no topo.

Segundo o IPT (1981b), as amígdalas podem estar preenchidas por calcedônia, quartzo, calcita, zeólitas e nontronita, mineral que lhes imprime cor verde. Grandes geodos de quartzo e calcedônia podem existir na zona superior amigdalóide.

A Formação Serra Geral é recoberta em discordância angular pelas formações do Grupo Bauru ou depósitos cenozóicos. Os derrames são formados por rochas de cor cinza escura a negra, afaníticas.

Os basaltos são constituídos essencialmente de labradorita zonada associada a clinopiroxênios (augita e as vezes pigeonita). Como acessórios, têm-se titanomagnetita, apatita, quartzo e raramente olivina e seus produtos de transformação. Matéria vítrea, ou produtos de desvitrificação, podem ser abundantes, sobretudo às bordas dos derrames.

Uma indicação de que os basaltos se originaram do extravasamento rápido de lava muito fluida através de geoclases e falhas menores é dada pela uniformidade dos derrames, sua vasta extensão, associação com diques contemporâneos, preservação local de morfologia das dunas e raridade de produtos piroclásticos. A persistência das condições desérticas durante o vulcanismo é comprovada pela existência das intercalações eólicas.

ALMODOVAR (1995) descreveu e analisou onze amostras de calha de rochas basálticas de um poço tubular perfurado em Urânia (PP09). A descrição mostrou que a maioria destas amostras é melanocrática, com textura fanerítica fina e não apresenta vesículas. As análises químicas destas amostras, coletadas em diferentes profundidades (70, 90, 110, 130, 150, 170, 190, 210, 230, 250 e 270 m), foram executadas por Espectrometria de Emissão Atômica com Fonte em Plasma Induzido

(ICP-AES) (Tabela 2).

Tabela 2: Composição química dos basaltos em Urânia (ALMODOVAR, 1995)

Elementos	Amostras na profundidade especificada (em metros a partir da superfície)										
	70	90	110	130	150	170	180	190	210	230	250
SiO ₂ (%)	50,14	52,07	49,33	50,01	50,85	51,47	48,74	50,40	49,87	48,57	49,64
Al ₂ O ₃ (%)	12,85	13,16	13,54	13,74	13,66	13,59	12,89	12,44	12,56	13,16	12,96
Fe ₂ O ₃ (%)	14,38	14,48	14,96	13,74	13,76	13,59	15,92	16,41	16,00	15,89	15,65
MgO (%)	5,17	5,47	5,37	6,25	6,18	6,10	4,26	4,46	4,49	5,46	5,33
CaO (%)	9,20	9,70	9,30	10,45	10,18	10,01	8,55	8,43	8,53	9,96	9,73
Na ₂ O (%)	2,86	2,64	3,04	2,48	2,49	2,47	2,75	2,69	2,63	2,52	2,51
K ₂ O (%)	1,55	1,02	1,56	0,73	0,98	1,01	1,26	1,46	1,46	0,67	1,03
TiO ₂ (%)	2,02	1,97	2,06	1,87	1,80	1,85	3,69	3,84	3,67	2,70	2,65
P ₂ O ₅ (%)	0,25	0,24	0,26	0,23	0,23	0,24	0,57	0,57	0,54	0,29	0,29
MnO (%)	0,20	0,19	0,25	0,23	0,21	0,21	0,23	0,25	0,23	0,19	0,22
Total	98,62	100,9	99,67	99,73	100,3	100,5	98,86	101,0	99,98	99,41	100
Cr (ppm)	94	84	101	159	168	164	20	20	20	55	59
Ni (ppm)	37	50	44	71	70	75	< 20	< 20	20	32	29
V (ppm)	470	432	459	408	400	410	481	469	493	508	507
Ba (ppm)	387	293	373	272	258	263	495	457	455	289	311
Sr (ppm)	395	387	385	392	339	330	435	421	426	458	439

Através desse estudo foi possível constatar que os basaltos podem ser divididos em quatro grupos com características geoquímicas diferentes, de acordo com a profundidade. Estes grupos apresentam concentrações equivalentes para cada elemento. O grupo I corresponde às profundidades 70, 90 e 110 m. O grupo II, 130, 150 e 170 m. O grupo III, 190, 210 e 230 m, e o grupo IV, 250 e 270 m.

Os topos dos derrames, identificados pelo caráter alterado e amigdaloidal dos basaltos, encontram-se nos seguintes intervalos de profundidade: 110-124 m, 178-180 m, 240-246 m.

Os basaltos da Bacia do Paraná podem ser classificados em três grupos, de acordo com a porcentagem de P₂O₅ e TiO₂ (PICCIRILLO, 1988):

- HPT (alto P₂O₅ e TiO₂) > 3% TiO₂;
- LPT (baixo P₂O₅ e TiO₂) < 2% TiO₂;

- IPT (intermediário P_2O_5 e TiO_2) 2-3% TiO_2

Nos basaltos do poço de Urânia foram claramente identificados representantes de todos estes três grupos. O grupo II é classificado como LPT, e apresenta baixas concentrações de Ti e P e altas de Mg, Ca, Cr e Ni. O grupo III corresponde ao HPT, com altas concentrações de Fe, Ti, P, Ba, Sr. Os HPT são considerados predominantes no Estado de São Paulo.

3.3.2. Grupo Bauru

Após o término dos derrames de lavas da Formação Serra Geral, observou-se uma tendência para soerguimento epirogênico de toda Plataforma Sul-Americana. Entretanto, a porção norte da Bacia do Paraná comportou-se como uma área negativa e marcou o início de uma fase de embaciamento. Nessa área acumulou-se o Grupo Bauru (IPT, 1981b).

Os sedimentos desse grupo, de idade Cretáceo Superior, assentam-se em discordância erosiva sobre as rochas do Grupo São Bento e, no Estado de São Paulo, ocupam todo o Planalto Ocidental (FÚLFARO & BJORNBERG, 1993).

Várias propostas têm surgido com o intuito de interpretar a interrelação destas diversas unidades sedimentares supra-basálticas cretáceas. O termo Bauru foi utilizado pela primeira vez para denominar a seção cretácea do oeste do Estado de São Paulo, com denominação de "Grés de Bauru" (CAMPOS, 1905 *apud* SCHNEIDER *et al.*, 1974).

Inúmeros trabalhos posteriores consideraram o Bauru como série, grupo ou formação, entre eles FREITAS (1964), GUIMARÃES (1964), MEZZALIRA (1974), COIMBRA (1976) e SOARES *et al.* (1979).

SOARES *et al.* (1980) propuseram e mantiveram a sequência estratigráfica para o Grupo Bauru subdividindo-o em Formação Caiuá (arenitos eólicos arroxeados); Formação Santo Anastácio (arenitos fluviais marrom avermelhados); Formação Adamantina (arenitos lamíticos e lamitos vermelhos e castanhos fluviais) e Formação Marília (arenitos e arenitos conglomeráticos esbranquiçados). Posteriormente BARCELOS *et al.* (1983) anexaram a Formação Itaqueri, antes considerada de idade mais jovem (Cenozóica) ao grupo, argumentando que seu arcabouço tectono-sedimentar ainda pertence ao Grupo Bauru.

Uma estratigrafia mais abrangente para o Grupo Bauru foi proposta por SUGUIO

(1981). O autor abordou aspectos paleoambientais e paleogeográficos do Grupo Bauru e o subdividiu em seis formações: Caiuá, Santo Anastácio, Araçatuba, São José do Rio Preto, Uberaba e Marília.

FERNANDES (1998) discutiu a estratigrafia e a evolução sedimentar da parte oriental da Bacia Bauru (oeste de São Paulo, Triângulo Mineiro e noroeste do Paraná). O autor propôs que nesta região, a sequência neocretácea fosse dividida em dois grupos parcialmente cronocorrelatos : Caiuá (formações rio Paraná, Goio Erê e Santo Anastácio) e Bauru (formações Uberaba, Vale do Rio do Peixe, Araçatuba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente e Marília, mais os Analcimitos Taiúva, que são rochas vulcânicas localmente intercaladas na sequência).

3.3.2.1. Formação Adamantina

Esta formação ocupa a maior área geográfica de todo o Grupo Bauru, dominando amplamente o Planalto Ocidental.

A unidade é fossilífera e apresenta uma flora e fauna diversificada. Seu conteúdo de fósseis indica uma idade do Cretáceo Superior, o que é confirmado pela interdigitação desta unidade com a Formação Uberaba, no Triângulo Mineiro, contemporânea ao magmatismo alcalino dessa região (FÚLFARO & BARCELOS, 1991).

O contato inferior da Formação Adamantina normalmente se dá com a Formação Santo Anastácio, é transicional e interdigitado (IPT, 1981b). Porém, na região de pesquisa, este contato se faz diretamente com o embasamento basáltico e é erosivo.

O contato superior da Formação Adamantina é transicional com a Formação Marília e em discordância erosiva com os depósitos de coberturas de idade cenozóica (FÚLFARO & BJORNBERG, 1993).

SOARES *et al.* (1980) caracterizaram a Formação Adamantina por bancos de arenitos de granulação fina, coloração rósea a creme e cimentação carbonática localizada. Às vezes apresenta lamitos, siltitos e arenitos lamíticos, de cores avermelhadas a cinza esverdeadas. Os autores descrevem que as maiores espessuras desta formação podem atingir 160 m entre os rios São José dos Dourados e Peixe, 190 m entre os rios Santo Anastácio e Paranapanema e 100 a 150 m entre os rios Peixe e Turvo, adelgando-se em direção a leste e nordeste.

ALMODOVAR (1995), através do cadastro de poços tubulares perfurados nos municípios do noroeste paulista, definiu as espessuras das rochas sedimentares e basaltos. A autora observou que a cidade de Guzolândia possui a maior espessura de rochas sedimentares da Formação Adamantina, de 208 m. Em Fernandópolis as espessuras encontradas para a Formação Adamantina, os basaltos, as formações Botucatu e Pirambóia foram, respectivamente: 130, 1.207, 143 e 165 m.

Na cidade de Jales também foram identificadas rochas sedimentares da Formação Botucatu. A espessura encontrada para a Formação Adamantina foi de 85 m. Os basaltos foram encontrados até 986 m e a Formação Botucatu reconhecida até 1.205 m.

Em Urânia a Formação Adamantina foi determinada até 160 m. Esta é representada por areia fina siltosa a argilosa, de cor marrom com tonalidades variando de clara a escura e algumas vezes avermelhada. Cinco amostras foram analisadas através do ICP-AES. Duas destas amostras foram coletadas a 0,2 m de profundidade (A4 e A6) e as outras três, durante a perfuração do poço PP 09, a 18, 30 e 54 m (ALMODOVAR, 1995). Os resultados das análises química encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3: Composição química de solos e sedimentos em Urânia (ALMODOVAR, 1995)

Elementos analisados (ppm)	Amostras					
	Solos			Poço tubular PP 09		
	A 4	A 6	A 6*	18**	30**	54**
Zn	87	123	123	51	219	45
Cr	561	231	233	131	310	174
Cu	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Zr	599	329	332	151	230	169
Y	< 20	83	84	< 20	< 20	< 20

*amostra duplicata

**profundidade de coleta em metros a partir da superfície

O único elemento em comum analisado tanto nos basaltos quanto nos sedimentos pelo ICP-AES foi o cromo. Suas concentrações nos sedimentos de Urânia (131-561 ppm) são mais elevadas do que nos basaltos (20-168 ppm).

Segundo FERNANDES (1998), dentro de sua nova proposta litoestratigráfica, em Urânia aflora a Formação Rio do Peixe. A unidade é constituída por arenitos muito finos a finos de cor marrom claro, rosado a alaranjado, de seleção moderada a boa

(predominante), com intercalações de siltitos de cores creme a marrom. Os arenitos formam estratos tabulares de aspecto maciço, com zonas de estratificação/laminação plano-paralela grosseira, e estratos, também tabulares, com estratificação cruzada tabular e acanalada em geral de médio a pequeno porte. A formação está associada a depósitos essencialmente eólicos acumulados em extensas áreas planas, formando lençóis de areia com campos de dunas baixas, alternados com depósitos de loesse. Provavelmente estes últimos foram fixados em corpos aquosos rasos e efêmeros, formados nas zonas mais baixas em períodos de elevação do nível freático.

De acordo com COIMBRA (1976), a área fonte desta formação é indicada como sendo os sedimentos fanerozóicos pré-existentes a noroeste e sudeste, áreas de rochas básicas do Grupo São Bento, metamórficas dos grupos Araxá e Canastra e alcalinas do Triângulo Mineiro, a nordeste. Estas conclusões foram baseadas principalmente na análise da distribuição de parâmetros granulométricos e na frequência relativa de minerais pesados, entre eles zircão, turmalina, rutilo, perowskita, augita e titano-augita, anatásios, granada (almandina), cianita, estaurolita e epídoto.

Um estudo da Formação Adamantina na região de Araçatuba e Penápolis, através de 38 amostras de sedimentos, identificou minerais pesados como turmalina e estaurolita e secundariamente granada, zircão, rutilo e perowskita (BRANDT NETO, 1977).

BRANDT NETO (1984) e BRANDT NETO *et al.* (1985) definiram que os argilominerais reconhecidos nesta formação eram representados pela caulinita, montmorillonita e palygorskita.

O mineral analcima foi identificado e caracterizado pela primeira vez nesta formação, em sondagem efetuada na cidade de Macedônia, situada a 20 km de Fernandópolis. Este mineral parece ter sido originado a partir de processos hidrotermais (BRANDT NETO *et al.*, 1987).

SILVA & DEL MONTE (1987) descrevem a presença de trona no Grupo Bauru, mineral de origem evaporítica, não marinha, constituído essencialmente por carbonatos e bicarbonatos de sódio.

3.3.3. Coberturas cenozóicas

As coberturas cenozóicas são compostas por sedimentos arenosos, aluviais e coluviais e ocupam a Cuesta Basáltica e o Planalto Ocidental. Essas coberturas, em

algumas áreas, foram erroneamente interpretadas como solos. Apresentam espessura variável, ocorrendo sobre bem marcadas superfícies de erosão (LANDIM *et al.*, 1974). A Figura 4 ilustra a distribuição dos depósitos de cobertura cenozóica no interior do Estado de São Paulo.

A origem desses depósitos está associada a dois ciclos geomorfológicos: Sul-Americano, de idade terciária e Velhas, do Quaternário. Depósitos correlativos ao ciclo mais antigo são encontrados nas maiores altitudes do Planalto Ocidental, sendo localmente denominados de "chapadões". O ciclo mais novo apresenta a sua fase mais importante quando os rios da parte norte da Bacia do Paraná atingem uma fase senil. Nesse tempo são formadas amplas planícies aluviais ao longo dos principais rios (Grande, Pardo, Turvo, Tietê, Paranapanema etc) e grandes coberturas coluviais nos divisores de águas.

3.4. HIDROGEOLOGIA

3.4.1. Principais aquíferos da região

A região de pesquisa, pelas suas características litológicas, apresenta duas formas de ocorrência de águas subterrâneas: o Sistema Aquífero Bauru, que constitui a principal fonte de exploração de água subterrânea e, secundariamente, o Aquífero Serra Geral. Os perfis litológicos dos poços tubulares da Sabesp de Urânia indicam que o local é representado por rochas sedimentares do Aquífero Adamantina e rochas basálticas do Aquífero Serra Geral.

Na região de pesquisa, o Aquífero Adamantina é o mais explorado devido às maiores facilidades de captação, com poços relativamente rasos. Os poços perfurados apenas nos basaltos são poucos, ocorrendo em locais de afloramento destas rochas. O restante, são poços que exploram conjuntamente os aquíferos Adamantina e Serra Geral, onde penetram de forma parcial.

A utilização do Sistema Aquífero Guarani (Botucatu) tem se concentrado nos municípios de Jales, Fernandópolis e São José do Rio Preto. Normalmente as perfurações têm alcançado este aquífero em profundidades superiores a 800 m, a partir da superfície. As vazões de seus poços estão em torno de 700 m³/h, no entanto, o aquífero fica prejudicado economicamente pela profundidade em que se encontra. Sua

Figura 4: Distribuição dos depósitos de cobertura cenozóica no interior do Estado de São Paulo (modificado de LANDIM *et al.*, 1974).

exploração tem sido destinada ao abastecimento público e captações de águas termais, para fins turísticos.

3.4.1.1. Aquífero Serra Geral

Segundo DAEE (1988), o Aquífero Serra Geral aflora numa área de 32.000 km² na porção centro-leste de São Paulo, sendo recoberto, a oeste, pelos sedimentos Bauru-Caiuá. Apresenta-se em derrames sucessivos de lavas, superpostos, onde os sistemas de fraturamento (zonas aquíferas) estão relacionados tanto a esforços tectônicos, gerando fraturas subverticais, como a processos de resfriamento que originam descontinuidades sub-horizontais.

Em escala regional, as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral constituem o substrato rochoso onde se acumulam as águas provindas da cobertura sedimentar do Grupo Bauru.

O Aquífero Serra Geral é formado pela sequência de derrames basálticos e intrusivas associadas. O pacote representado pelos derrames basálticos aumenta sua espessura de leste para oeste. A produção de águas subterrâneas está associada a falhas e fraturas, horizontes vesiculares e interderrames de arenitos. Sua potencialidade hídrica está relacionada à densidade e espessura de fraturamento, ao

grau de alteração dos horizontes vesiculares e aos sistemas de alimentação e inter-relação com outros aquíferos.

Esse aquífero possui extensão limitada, é fissurado, livre a semi-confinado, descontínuo, heterogêneo e anisotrópico. Sua espessura média é de 150 m. Seus poços apresentam profundidade de 50 a 150 m.

As análises do comportamento da permeabilidade ao ar de alguns basaltos revelam valores de 1×10^{-3} à 1×10^{-5} m/s para as estruturas de contato e juntas-falhas horizontais de grande extensão. As estruturas verticais, isto é, diáclases de pequena extensão, acusaram permeabilidades inferiores a 1×10^{-7} m/s (FARJALLAT, 1974).

A transmissividade deste aquífero varia de 1 a 700 m²/dia. As vazões predominantes nos poços variam de 5 a 70 m³/h. Os valores de capacidade específica de poços estão no intervalo de 0,01 a 10 m³/h/m (CETESB, 1997). A porosidade efetiva encontra-se entre 1% e 5% (DAEE, 1976).

3.4.1.2. Sistema Aquífero Bauru

Os sedimentos da Formação Adamantina formam o Sistema Aquífero Bauru, que representa uma das principais fontes de exploração de água subterrânea no Estado de São Paulo. Este sistema aquífero cobre uma área de 104.000 km² (cerca de 40% do território estadual) de um total de 315.000 km² de sua ocorrência na Bacia do Paraná. Devido à relativa facilidade de captação de água através de poços cacimbas e tubulares, o Sistema Aquífero Bauru atende a uma ampla demanda de água, desde núcleos urbanos de pequeno porte e indústrias, até propriedades rurais que necessitam de água para irrigação (CAMPOS, 1987).

Segundo DAEE (1976 e 1988), o Sistema Aquífero Bauru caracteriza-se como unidade hidrogeológica de extensão regional, granular, contínua, livre a semiconfinada, heterogênea e anisotrópica. Sua espessura média é 100 m, mas pode chegar aos 250 m.

Como aquífero freático, a recarga é feita diretamente pela precipitação pluvial, sendo sua base de drenagem os rios Paranapanema, Tietê, Grande e Paraná, e suas malhas de afluentes em toda a área do afloramento. O aquífero funciona, em geral, como reservatório regulador do escoamento desta rede fluvial.

O Sistema Aquífero Bauru recobre os derrames basálticos da Formação Serra

Geral. É constituído de arenitos muito finos a médios das Formações Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina, e de arenitos grossos a conglomeráticos da Formação Marília.

Este sistema aquífero apresenta velocidades de circulação das águas subterrâneas da ordem de $4,63 \times 10^{-7}$ m/s para a Formação Adamantina (ROCHA *et al.*, 1979). Segundo ROCHA *et al.* (1982), a condutividade hidráulica média apresenta uma variação de 1×10^{-6} a 1×10^{-5} m/s. O intervalo de 1×10^{-6} a 3×10^{-6} m/s é dominante em área, estando associado principalmente à Formação Adamantina. Os valores de transmissividade variam de 30 a 50 m²/dia. As vazões predominantes nos poços da Formação Adamantina variam de 8 a 30 m³/h. Os valores de capacidade específica compreendidos no intervalo de 0,5 a 1,0 m³/h/m são mais frequentes na área que corresponde aos domínios de ocorrência da Formação Adamantina (CETESB, 1997).

A porosidade efetiva varia de acordo com a composição das camadas, de 15% nas camadas arenosas a 5% nos arenitos calcíferos e siltosos. Alguns testes de bombeamento realizados em poços que exploram o Grupo Bauru, acusaram valores do coeficiente de armazenamento característicos de condições de confinamento (1×10^{-3} a 1×10^{-5}), fato explicado pela existência de camadas arenosas limitadas por camadas silto-argilosas compactas formando bancos de grande extensão (CETESB, 1978).

BARCHA (1980), a partir do estudo de 350 amostras de 13 poços da região de São José do Rio Preto, chegou a índices bastante variáveis para a porosidade efetiva, com valores médios entre 16 e 26%.

Em Urânia, a velocidade média de circulação das águas subterrâneas é da ordem de 1×10^{-7} m/s. A profundidade dos poços tubulares varia de 75 a 270 m. O nível estático pode ser encontrado em profundidades de 4,60 a 50 m. A vazão destes poços encontra-se entre 2,2 m³/h e 18,8 m³/h. Os testes de bombeamento em poços totalmente penetrantes no aquífero, com espessura saturada variando de 70 a 120 m, mostram valores de transmissividade de 10 m²/dia (ALMODOVAR, 1995).

3.4.2. Características hidroquímicas

3.4.2.1. Aquífero Serra Geral

As águas dos basaltos apresentam resíduo seco inferior a 200 mg/L e valores de

pH entre 6,0 e 7,0. Algumas anomalias hidroquímicas, que estão associadas a sistema de fraturas, com valores de resíduo seco da ordem de 800 mg/L e teores excessivos de fluoreto e sulfato são observadas na região (DAEE, 1988).

3.4.2.2. Sistema Aquífero Bauru

Na Formação Adamantina predominam águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e águas bicarbonatadas sódicas; secundariamente ocorrem águas cloro-sulfatadas cálcicas ou magnesianas e cloro-sulfatadas sódicas (CAMPOS 1987). As águas são pouco mineralizadas, com sólidos totais dissolvidos (STD) inferiores à 240 mg/L.

O Sistema Aquífero Bauru apresenta pH de ácido a básico (4,59 a 9,64) e teores salinos inferiores a 200 mg/L para 62% das amostras. Neste sistema aquífero, a grosso modo, o enriquecimento do teor salino das águas subterrâneas não é acompanhado pelo aumento dos teores de cloreto e de sódio, a não ser localmente (CAMPOS, 1993).

De um modo geral, as águas deste aquífero são de boa qualidade para o consumo humano e animal. O teor de algum constituinte acima do limite máximo permitido pela legislação reflete contaminação local, decorrente de uma má construção do poço e ausência de proteção sanitária.

Para fins agrícola, as águas são consideradas excelentes em sua quase totalidade. Do ponto de vista industrial, é necessário um controle. A dureza excessiva torna a água inadequada à indústria têxtil, curtumes, indústrias de alimentos e caldeiras. O pH da água muitas vezes é inadequado para o uso direto destas em cervejarias.

Alguns parâmetros físico-químicos foram medidos e analisados em águas de três poços tubulares da Sabesp de Urânia, no período de março a maio de 1995 (Tabela 4). Os três poços foram selecionados por apresentarem as maiores concentrações de Cr^{6+} nas águas. Estas concentrações foram medidas nas águas de 25 poços de 12 localidades do noroeste paulista, em dezembro de 1994. Destes parâmetros, apenas o cromo encontra-se acima do limite de potabilidade, cujo valor é 0,05 mg/L (ALMODOVAR, 1995).

Tabela 4: Parâmetros físico-químicos das águas de poços tubulares da Sabesp de Urânia (ALMODOVAR, 1995)

Poços	Coleta	Al ³⁺ (mg/L)	C.E. (μS/cm)	Cr t (mg/L)	Cr ⁶⁺ (mg/L)	Eh (mV)	Fe t (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mn t (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	N (NO ₃ ⁻) (mg/L)	pH	R.S. (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	STD (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	T ar (°C)	T água (°C)
PP 02	08/03/95	0,01	150	0,10	0,08	445	0,07	0,10	71	1,80	---	26	0,01	8,9	114	15,0	81,9	0,10	35	25
	30/03/95	0,13	---	0,11	0,08	---	0,03	0,20	---	---	0,01	---	---	8,6	---	---	---	0,10	30	25
	30/05/95	0,02	160	0,08	0,08	435	0,10	0,10	74	1,62	0,01	---	---	8,9	---	28,7	89,0	0,09	27	21
PP 04	08/03/95	0,01	150	0,11	0,09	445	0,05	0,20	73	0,50	---	33	0,01	9,1	117	15,0	83,0	0,10	34	24
	30/03/95	0,04	---	0,12	0,08	---	0,07	0,10	---	---	0,01	---	---	9,0	---	---	---	0,10	30	26
	30/05/95	0,01	160	0,10	0,08	420	0,12	0,10	70	0,80	0,01	---	---	9,1	---	25,4	95,0	0,01	27	22
PP 05	08/03/95	0,01	160	0,10	0,08	445	0,03	0,30	66	0,50	---	37	0,01	9,1	107	9,0	78,6	0,10	33	25
	30/03/95	0,14	---	0,10	0,07	---	0,07	0,20	---	---	0,01	---	---	8,0	---	---	---	0,10	30	26
	30/05/95	0,02	160	0,08	0,08	420	0,21	0,10	60	0,65	0,01	---	---	9,1	---	18,5	97,0	0,01	27	21

C.E.= condutividade elétrica (medida à 25° C)

Cr t = cromo total

R.S. = resíduo seco (a 180° C)

STD = sólidos totais dissolvidos

--- = parâmetros não medidos e/ou analisados

4. MATERIAL E MÉTODO

Existem duas hipóteses básicas para definir a origem do cromo nas águas subterrâneas de Urânia. Uma é antrópica, resultado da contaminação do solo por uma atividade industrial ou agrícola; a outra é natural, devido a solubilização de minerais portadores de cromo, presentes nos solos e sedimentos do Aquífero Adamantina. Várias etapas metodológicas foram desenvolvidas para explicar a origem e o comportamento do cromo na área de pesquisa, assim como, esclarecer os mecanismos hidrogeoquímicos que controlam a partição do cromo no sistema rocha-água (Figura 5).

4.1. ORIGEM ANTRÓPICA

A poluição de aquíferos por cromo está normalmente associada a fontes antrópicas e pontuais. Pode ser melhor evidenciada em áreas onde estão instaladas indústrias de metal, de tratamento de madeira, de manufaturas de pigmentos, de inibidores de corrosão, curtumes, mineração de cromo e processos de beneficiamento de metal, entre outras.

Casos reportados de poluição das águas subterrâneas por micronutrientes presentes em fertilizantes são raros. Lodos de curtume possuem altas concentrações de cromo e algumas vezes são depositados sobre o solo, em amplas áreas.

Na cidade de Urânia realizou-se uma inspeção para verificar a existência de indústrias, curtumes, minerações ou outras fontes potenciais contaminantes de cromo nas águas subterrâneas.

Para estudar uma possível origem do cromo associada à atividade agrícola, foram consultados antigos moradores que trabalharam com vendas de fertilizantes e agrotóxicos em Urânia e o agrônomo da prefeitura municipal. As entrevistas permitiram obter informações sobre as variedades de culturas e os períodos em que foram cultivadas, bem como os defensivos agrícolas utilizados e os micronutrientes associados aos fertilizantes.

Com base nos dados obtidos realizou-se uma investigação bibliográfica e foram contatados centros de pesquisas especializados no assunto (Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias-EMBRAPA e Escola Superior de Agricultura "Luiz de

Figura 5: Fluxograma das etapas metodológicas desenvolvidas na pesquisa

(ZOC= Zona de Captura de Poços; PC=Poço cacimba; DRX=Difração de Raios X; FRX = Fluorescência de Raios X; MEV= Microscopia Eletrônica de Varredura)

Queiroz" da Universidade de São Paulo-ESALQ-USP), com a finalidade de esclarecer a presença de cromo nos defensivos agrícolas e fertilizantes.

4.2. ORIGEM NATURAL

Embora o cromo seja um elemento comum na litosfera, sua ocorrência não-antrópica nas águas subterrâneas é bastante rara (HEM, 1985). Mecanismos de solubilização, função das características físico-químicas naturais, são os principais responsáveis por esta partição predominantemente à fase sólida.

No entanto, a origem natural do cromo nas águas subterrâneas da região de Urânia tem sido defendida por alguns autores (HIRATA & RODOLFI, 1993; ALMODOVAR, 1995).

Para avaliar a hipótese da origem natural do cromo na água subterrânea de Urânia, realizou-se um estudo enfatizando as zonas não-saturada e saturada do Aquífero Adamantina, onde poderiam existir duas formas de enriquecimento da água por este metal, inclusive complementarmente. O estudo na zona não-saturada baseou-se na coleta de amostras de solos e sedimentos para análises macroscópica, granulométrica, química, mineralógica e extração sequencial. A pesquisa na zona saturada desenvolveu-se através do cadastro de poços tubulares e cacimbas de Urânia, amostragem e análises físico-químicas das águas destes poços.

4.2.1. Enriquecimento da água por cromo na zona não-saturada

Nesta etapa da pesquisa foi estabelecida uma zona de captura de poços (ZOC), baseada no trabalho de ROSSATO (1999), que definiu as ZOCs como instrumento para a proteção das captações de água subterrânea no município de Urânia.

A ZOC determinou a zona de contribuição de água de um poço profundo da Sabesp (PP06), ou seja, sua área de recarga, onde estaria ocorrendo o enriquecimento por cromo na zona não-saturada. Este poço foi selecionado por apresentar um histórico de ocorrência de elevados teores de cromo na sua água.

Para estudar a zona não-saturada foram coletadas amostras de solos e sedimentos de 13 pontos distribuídos na área da ZOC e de um poço cacimba (PC), escavado especialmente para este estudo, dentro da zona de contribuição do PP06.

O PC possui 11,00 m de profundidade e 1,75 m de diâmetro, sendo que o nível

d'água foi atingido a 9,78 m. A descrição litológica do material retirado do poço encontra-se no Anexo 1. A obra foi revestida com anéis de concreto de diâmetro interno de 1,62 m, no contexto dos sedimentos da Formação Adamantina. Este poço permitiu instalar equipamentos que estão sendo utilizados em uma outra pesquisa, para monitorar o comportamento hidráulico e químico da água das zonas não-saturada e saturada. Um detalhamento das técnicas de construção e instalação de equipamentos encontra-se em BERTOLO (2000) e BERTOLO & HIRATA (2000).

4.2.1.1. Coleta de amostras de solos e sedimentos da ZOC e do PC

Em locais específicos da ZOC foram efetuados 13 furos com um trado manual e coletadas em cada um deles três amostras de solos, nas profundidades de 0,4, 1,0 e 2,0 m. No ponto A2 foi amostrado também a profundidade de 2,5 m, totalizando 40 amostras (Figura 6). Apesar de todas estas amostras, apenas algumas foram usadas para análises, de forma que fossem representativas da área.

Durante a escavação do PC foram coletadas 15 amostras deformadas de solos e sedimentos.

Com as amostras foram analisadas a granulometria, os teores de cromo e os minerais portadores deste elemento. As separações granulométrica e por densidade visaram definir as concentrações de cromo em cada uma das frações e facilitar a identificação de minerais portadores de cromo.

Cabe ressaltar que além das amostras citadas acima foram consideradas outras duas da cidade de Urânia (A4-M e A6-M). Estas amostras foram coletadas a 0,2 m de profundidade e escolhidas por serem conhecidos seus teores de cromo em trabalhos anteriores (ALMODOVAR, 1995 e ALMODOVAR & PACHECO, 1995). A análise química através do ICP-AES (Plasma) foi realizada novamente nas duas, para confirmar os resultados, uma vez que na pesquisa anteriormente citada, a técnica de análise química estava começando a entrar em rotina.

Figura 6: Pontos de coleta de amostras da ZOC e localização do PC.

a. Análise macroscópica

A análise macroscópica (táctil-visual) de 19 amostras de solos da ZOC, duas da cidade de Urânia e 14 do PC definiu parâmetros como granulometria e cor.

b. Análise granulométrica

Inicialmente foram selecionadas 12 amostras de solos da ZOC e da cidade de Urânia para a análise granulométrica. Esta etapa foi desenvolvida no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP), no Laboratório de Sedimentologia. O procedimento de análise deu-se através do Método de Pipetagem e Peneiramento (SUGUIO, 1973).

Após a perfuração do PC, determinou-se a granulometria de outras 14 amostras de solos e sedimentos. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da USP. A análise foi fundamentada no método de Espectroscopia de Photon Correlação (ISO 13321, 1996).

As amostras foram quarteadas manualmente uma única vez. Pesou-se cerca de 50 g de cada amostra, que foram desagregadas com um martelo de borracha para evitar quebra das partículas.

Métodos de Pipetagem e Peneiramento

Em cada amostra analisada no IGc-USP foi misturado um 1 g de pirofosfato de sódio, que funciona como antifloculante, impedindo a formação de aglutinados de partículas argilosas e siltosas.

Num recipiente com a amostra e o antifloculante foi adicionado cerca de 50 mL de água destilada. Este permaneceu por 10 minutos em um agitador elétrico para que a solução fosse homogeneizada. Esta mistura foi colocada em uma proveta de 1.000 mL. O material não dissolvido foi desagregado em um almofariz com pistilo de borracha e colocado também na proveta. A proveta foi completada com água destilada.

As amostras passaram por um ensaio de pipetagem para dosagem de silte-argila total (partículas entre 0,062 - 0,004 mm de diâmetro) e foram elutriadas através

de fluxo ascendente em um funil liso, para eliminação do sobrenadante pelítico.

O resíduo de elutriação foi submetido a peneiramento via seca, realizado entre os intervalos de 0,062 mm (limite entre silte e areia) e 4,000 (limite entre grânulo e seixo), através de vibração mecânica, por 25 minutos.

Os resultados obtidos a partir das análises granulométricas foram tratados com o programa MOMENTO3 versão wk4.

b.1. Separação da fração argila para Difração de Raios X (DRX)

O material argiloso foi coletado no decorrer da análise granulométrica. A fração argila foi retirada durante a última pipetagem e disposta em lâminas de vidro para posterior análise mineralógica por DRX (BUHRKE *et al.*, 1998).

b.2. Separação de minerais pesados magnéticos e não-magnéticos para DRX e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Esta separação foi realizada no Laboratório de Sedimentologia do IGc-USP e visou definir os minerais presentes em cada fração (DRX) e aqueles portadores de cromo (MEV).

A amostra A4-M foi escolhida para a separação de minerais pesados por ter sua composição química conhecida. Após o peneiramento na análise granulométrica, foram selecionadas as frações: grossa (0,177-0,125 mm), fina (0,088-0,062 mm) e do prato (< 0,062 mm).

Os minerais foram divididos por densidade através do bromofórmio em duas frações: leves (flutuado) e pesados (afundado). Destas frações separaram-se os minerais magnéticos e não-magnéticos com um ímã de mão.

Método de Espectroscopia de Photon Correlação

O princípio de operação do método de Espectroscopia de Photon Correlação é iluminar uma amostra dispersa em água com um feixe de luz laser monocromático. A luz espalhada pelas partículas forma um ângulo de aproximadamente 90° e é registrada por um detector sustentado por um correlator. O decaimento da função de autocorrelação da intensidade de espalhamento é interpretado como sendo o tamanho

médio da partículas.

c. Peneiramento via úmida e separação de minerais pesados

O peneiramento via úmida (água deionizada) de amostras de solos da ZOC e do PC objetivou separar a fração total de cada amostra em fração fina e grossa. A separação teve por finalidade definir em quais frações ocorrem os maiores teores de cromo e, a quais minerais ele pode estar associado. Esta etapa da pesquisa foi executada no Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da USP.

As amostras de solos da ZOC (A1 e A2) foram obtidas juntando certa quantidade de cada amostra, para que fosse possível conseguir cerca de um quilo de cada uma delas. Assim, a amostra A1 é composta pelas amostras A2-0,4; A2-1,0; A2-2,0; A2-2,5 e a A2, pelas amostras A5-1,0; A6-1,0 e A7-1,0. Estas duas amostras representam um perfil em profundidade e outro, em diferentes pontos da ZOC.

As amostras de solos do PC foram coletadas durante sua perfuração, nas profundidades de 1, 6 e 9,5 m (PC-1,0; PC-6,0 e PC-9,5).

Análise de cromo na água utilizada para o peneiramento

A água deionizada que serviu para a lavagem das amostras de solos e sedimentos do PC foi analisada para cromo total. Esta etapa da pesquisa foi executada no laboratório da CEIMIC Análises Ambientais S/C Ltda através de uma plasma de argônio, pelo método da EPA 6010.

c.1. Separação das frações fina, grossa (flutuado e afundado) para ICP-AES, DRX, Microscopia Óptica e MEV

No peneiramento via úmida utilizou-se uma peneira de 635 *mesh* (20 μ m). Cada amostra foi separada em duas frações: fina - o que passou pela peneira (<635 *mesh*) e grossa - o que ficou retido na peneira (>635 *mesh*).

Com o retido foi executada a separação de minerais pesados. O material foi centrifugado durante 6 minutos com uma velocidade de 120 RPM e separado por densidade através de bromofórmio, em flutuado e afundado (minerais pesados).

Como a quantidade obtida de minerais pesados foi muito pequena, ou seja, no máximo 14 g em aproximadamente um 1 kg de amostra, estes minerais não foram separados em magnéticos e não-magnéticos.

As três frações (fina, flutuado e afundado) foram encaminhadas para análise química através do ICP-AES e análise mineralógica através de DRX, Microscopia Óptica e MEV.

d. Análise química

A análise química de 19 amostras da fração total de solos da ZOC e duas de Urânia foram efetuadas por diferentes técnicas. Utilizou-se Fluorescência de Raios X (FRX) e ICP-AES. O intuito foi comparar os resultados e a eficiência de cada uma delas.

Após a análise dos resultados e a comparação das técnicas, optou-se por analisar as 14 amostras da fração total de solos e sedimentos do PC somente pelo ICP-AES. O mesmo ocorreu como as frações finas, flutuado e afundado de cinco amostras obtidas durante o peneiramento via úmida.

Os resultados obtidos através da análise química pelo ICP-AES foram interpretados através da análise estatística utilizando a relação de Pearson. Para isto, foram desenvolvidos os seguintes cálculos por meio do programa Microsoft Excel 5.0:

$$\text{cov} [x,y] = E [xy] - E[x] E[y]$$

$$\text{cov} [x,y] = 1/n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i/n \cdot \sum_{i=1}^n y_i/n$$

$$\text{var} [x] = 1/n \sum (x_i - \bar{x})^2$$

$$\text{var} [y] = 1/n \sum (y_i - \bar{y})^2$$

$$\rho = \text{cov} [x,y] / \sqrt{\text{var} [x] \text{var} [y]} \quad (6)$$

onde

ρ é o coeficiente de correlação

$\text{cov} [x,y]$ é a covariância entre x e y

$E [xy]$ é a esperança de $x y$

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \text{ é a média dos valores de } x$$

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \text{ é a média dos valores de } y$$

$\text{var } [x]$ é a variância de x

$\text{var } [y]$ é a variância de y

Os cálculos permitiram avaliar o comportamento relativo entre os diferentes elementos analisados e suas correlações. Verificaram-se as seguintes relações entre os parâmetros estudados:

- valores de ρ próximos a -1 significa que os parâmetros são inversamente proporcionais;
- valores de ρ próximos a +1 os parâmetros são diretamente proporcionais;
- valores de ρ próximos a 0 mostra que não existe relação entre os parâmetros analisados.

O comportamento de alguns parâmetros analisados foi melhor visualizado através da construção de gráficos.

d.1. FRX

As 19 amostras de solos da ZOC e duas de Urânia foram analisadas no Laboratório de FRX do IGc-USP. A preparação das amostras para a confecção das pastilhas prensadas foi realizada no mesmo Instituto, no Laboratório de Tratamento de Amostras.

Inicialmente as amostras foram colocadas em uma estufa a 40° C e deixadas por um período de 24 horas. A seguir cada amostra foi despejada em uma panela de carbeto de tungstênio e moída em um moinho de anéis (pulverizador) durante três minutos.

Depois de moídas, pesaram-se aproximadamente 12 g de cada amostra, colocou-se-as em um recipiente com pastilhas de ágata, o qual foi preenchido com álcool e deixado durante 30 minutos no micronizador.

As amostras foram postas em placas de Petri e permaneceram na estufa a 70° C, por aproximadamente 20 horas.

Depois de retiradas da estufa foram deixadas em um dessecador por meia hora, para impedir a absorção da umidade do ar.

Pesaram-se 7,5 g de cada amostra e 1,5 g de WAX (parafina micropulverizada) em uma balança eletrônica (CG-LIBROR 210) com precisão de quatro casas decimais.

Após a homogeneização manual da amostra com o WAX, o pó foi prensado duas vezes em uma prensa HERZOG por 60 segundos, a 30 toneladas. A limpeza do compartimento de amostra da prensa foi feita com acetona.

As pastilhas devidamente etiquetadas seguiram para o Laboratório de FRX onde foram analisadas pelo Espectrômetro de FRX PHILIPS, modelo PW 2400.

d.2.. ICP-AES

As análises químicas de elementos maiores, menores e traços, constituintes dos materiais amostrados em Urânia, foram efetuadas no IGc-USP, no Laboratório de Química e ICP-AES.

Para a caracterização química foram utilizados métodos clássicos (determinação do teor de umidade e perda ao fogo) e instrumentais (ICP-AES).

O procedimento de abertura de amostras foi baseado em JANASI *et al.* (1995), sendo o equipamento utilizado um espectrômetro sequencial de emissão atômica com plasma induzido acoplado, modelo ARL-3410, com minitocha, da APPLIED RESEARCH LABORATORIES (ARL).

As amostras enviadas para análises químicas haviam sido moídas durante três minutos em um moinho de anéis do Laboratório de Tratamento de Amostras do IGc-USP. Para tanto, utilizou-se uma panela de carbeto de tungstênio e a granulação obtida foi menor do que 200 *mesh*.

Para a determinação da umidade (H_2O) foram pesadas cerca de 2 g de amostras em cadinhos de porcelana previamente tarados. Após a secagem em estufa a $100 \pm 5^\circ$ C por no mínimo 12 horas, as amostras foram transferidas para um dessecador e pesadas novamente. A diferença percentual de massa observada corresponde à perda de umidade.

Dos cadinhos onde foi determinada a perda de umidade, foram retiradas alíquotas de 0,5 g de amostra, colocadas em cadinhos menores de porcelana

previamente secos em mufla à 1000^o C e tarados. O conjunto cadinho amostra foi levado novamente à mufla a 1000^o C por uma hora, retirado e colocado em dessecador com sílica até reequilíbrio térmico com o meio, e pesado. A diferença de massa obtida corresponde à perda ao fogo (P.F.) de elementos voláteis presentes nas amostras.

A fusão alcalina empregou uma quantidade de 0,2500 g $\pm$ 0,0001 g de amostra e 0,7500 g $\pm$ 0,0001 g de fundente, constituído por mistura de metaborato e tetraborato de lítio na proporção de 4:1. As misturas foram transferidas para cadinhos de grafite e a fusão foi feita em forno pré-aquecido a 1000^o C, por 20 minutos. As amostras fundidas foram despejadas em béqueres plásticos de 400 mL contendo solução ácida de água destilada (150 mL) e HNO₃ 2N (25 mL). As pérolas de vidro formadas foram dissolvidas através de agitação magnética por cerca de 30 minutos.

As soluções foram transferidas para balões volumétricos de 250 mL, onde o volume foi completado com água destilada e, para retirar as partículas de grafite, as soluções foram filtradas em papel de filtro tipo Whatmann n^o 41 ou similar. O filtrado foi transferido para frascos de polipropileno de 250 mL de onde foram retiradas alíquotas de 50 mL para análise dos elementos traços. Nestas alíquotas foram adicionadas duas gotas de HF 48% para evitar a precipitação de zircônio que forma complexos com o F⁻. As soluções foram armazenadas até a leitura pelo ICP-AES.

e. Análise mineralógica

A análise mineralógica foi desenvolvida através de técnicas como DRX, Microscopia Óptica e MEV. Estes diferentes processos analíticos tiveram a finalidade de definir os minerais presentes nos solos e sedimentos do Aquífero Adamantina e em rochas do Aquífero Serra Geral.

e.1.DRX

A DRX foi uma das técnicas usadas para identificar os minerais existentes nos solos e sedimentos do Aquífero Adamantina e rochas basálticas do Aquífero Serra Geral, no município de Urânia.

Foram analisadas 61 amostras, entre elas as frações totais do solo (18 amostras), manto de intemperismo (seis amostras), sedimento (duas amostras) e rochas (arenito mais litificado-uma amostra e basaltos-11 amostras). Os minerais da

fração argila, separada na última pipetagem durante a análise granulométrica, foram detectados em 12 amostras de solos. As frações separadas durante o peneiramento vias seca e úmida representaram 15 amostras de solos e seis do manto de intemperismo.

Para tanto utilizou-se o Difratômetro de Raios X modelo D 5000 da Siemens-Bruker do IGc-USP. O tubo de raios X usado foi o de cobre. As amostras foram prensadas em suportes adequados (BUHRKE *et al.*, 1998). As condições do Difratômetro foram de 40 kV e 40 μ A e sua varredura 2θ variou de 3° a 65° , com $0,05^{\circ}$ num tempo de dois segundos. A identificação dos minerais foi feita através do Programa DIFFRAC^{Plus} e da comparação com Powder Diffraction File-PDF do INTERNATIONAL CENTRE FOR DIFFRACTION DATA (1995).

e.2.. Microscopia Óptica

Para identificação dos minerais presentes nos solos da ZOC e do PC foram feitas análises microscópicas através de luz refletida (minerais opacos) e luz transmitida (minerais transparentes). Os estudos microscópicos foram desenvolvidos no Laboratório de Óptica do IGc-USP, onde utilizou-se o Microscópio Óptico Axioplan da Zeiss.

Os minerais pesados, separados durante o peneiramento vias seca e úmida, foram dispostos em seções polidas e seções delgadas polidas, preparadas no IGc-USP. As 7 seções eram representadas pelas seguintes amostras:

- A4-M-P-FG e A4-M-PM-FG - fração grossa de minerais pesados não-magnéticos e magnéticos separados por via seca;
- A1-A, A2-A, PC-1,0-A, PC-6,0-A e PC-9,5-A - fração grossa de minerais pesados separados por via úmida.

Antes das amostras de minerais pesados serem analisadas pelo MEV, foi feita a análise mineralógica através de microscopia de luz refletida. O objetivo era verificar pontos de interesse nos minerais, ou seja, as variações de fases para que fossem determinadas suas composições químicas posteriormente.

A fração total de cada amostra deformada (A1-T, A2-T, PC-1,0-T, PC-6,0-T, PC-9,5-T) foi preparada por impregnação e analisada através da microscopia de luz

transmitida.

A impregnação das amostras foi efetuada através de uma mistura de 100 mL de araldite, 20 mL de endurecedor e 15 mL de acetona comercial. As amostras foram colocadas em recipientes de papel alumínio e sobre estas despejou-se a mistura. Para eliminar a umidade e para que a mistura penetrasse totalmente nas amostras, os recipientes foram deixados durante alguns minutos em um dessecador. Logo após, as amostras foram encaminhadas para uma estufa a 30⁰ C, onde permaneceram por 24 horas. A partir das amostras impregnadas foram confeccionadas as lâminas no setor de laminação do IGc-USP.

e.3. MEV

Para a detecção de minerais portadores de cromo foram efetuados estudos por MEV, com microanálise pontual de energia dispersiva acoplada (MEV/EDS). Os átomos das amostras, atingidos pelo feixe eletrônico, ionizam-se e ejetam elétrons de suas camadas internas. Para recuperar a estabilidade os elétrons de outras camadas substituem as vacâncias geradas, emitindo quantias específicas de energia, cuja medida permite identificar os elementos presentes no material analisado.

O MEV utilizado foi o Leo 440i da OXFORD, do IGc-USP. Este é composto por detector de elétrons secundários (morfologia dos grãos), detector de elétrons retroespalhados (contraste dos grãos), catodoluminescência e espectrômetro de energia dispersiva EDS (Energy Dispersive Systems).

Inicialmente, por ser conhecido o teor de cromo, foi selecionada para análise através do MEV a amostra de solo coletada a 0,2 m de profundidade (A4-M). Utilizou-se o afundado, fração grossa (0,177-0,125 mm) separada em minerais pesados não-magnéticos e magnéticos durante o peneiramento via seca.

Posteriormente foram analisadas amostras de solos da ZOC e do PC (A1-T, A2-T, PC-1,0-A, PC-6,0-A e PC-9,5-A). Esta análise abordou especialmente a fração grossa, o afundado, ou seja, os minerais pesados separados pelo peneiramento via úmida.

A preparação das amostras foi feita através da separação de fragmentos com dimensões subcentimétricas. Estas amostras foram montadas em seções polidas e seções delgadas polidas e recobertas com carbono.

A análise semiquantitativa feita pelo MEV foi realizada em pontos específicos,

onde era possível diferenciar fases composicionais.

f. Extração Sequencial

Para a extração de cromo, ferro e manganês dos solos, de amostras do manto de intemperismo e rochas de Urânia foram empregadas soluções extratoras com naturezas e concentrações diversas. Esta etapa da pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Química e ICP-AES do IGc-USP e permitiu entender a retenção destes metais nos materiais analisados (adsorção em argilominerais, material orgânico, óxidos de ferro e manganês, materiais residuais e minerais silicáticos).

Foram selecionadas 10 amostras de tal forma que algumas continham os maiores teores de cromo, detectados por ICP-AES e outras eram representativas do perfil em profundidade do PC. O procedimento de análise foi modificado de ASIKAINEN & NIKOLAIDIS (1994) e EPA (1998).

Inicialmente foi efetuada a secagem prévia das amostras a $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ para que os teores extraídos de cromo, ferro e manganês fossem comparados àqueles existentes nas mesmas e determinada a porcentagem de extração.

As águas de lavagem foram reservadas para as análises, ao contrário do método de ASIKAINEN & NIKOLAIDIS (1994), onde são descartadas. Estas águas poderiam trazer soluções intersticiais da extração anterior contendo os elementos em questão. Foi também adicionada uma etapa de dissolução total do resíduo, remanescente da última extração, com HF/HNO_3 , em forno de microondas (CEM Co, 1994). Todas as soluções foram analisadas por metodologia de ICP-AES.

As extrações seletivas foram efetuadas a partir do seguinte procedimento:

Extração de metais adsorvidos

Os cadinhos foram secos em estufa a $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ e permaneceram por uma hora em um dessecador para esfriar. Pesaram-se 2,5 g de amostra, com granulação menor do que 100 *mesh* em cadinho seco, sem tarar. Secou-se o material em estufa a $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por duas horas e deixou-se esfriar no dessecador durante uma hora. Os cadinhos foram novamente pesados (perda de umidade) e também uma alíquota de 2,0 g de amostra, que foi colocada nos frascos de 50 mL da centrífuga, limpos e secos.

Adicionaram-se, com uma pipeta volumétrica, 40 mL de solução de KH_2PO_4 0,1 M e Na_2PO_4 0,1 M (1/1) com pH 7,2. Agitou-se o material por 16 horas em um agitador rotatório e centrifugou-se durante 30 minutos a 3.000 rpm. Mediu-se o volume da solução com proveta de 50 mL, filtrou-se em papel de filtro Whatmann 41 e adicionou-se 0,5 mL de HNO_3 concentrado. Reservou-se a solução em frasco de polietileno de 100 mL. O resíduo foi lavado adicionando, com pipeta volumétrica, 10 mL de água deionizada. Repetiu-se a centrifugação, a medida do volume da solução, filtragem e adição de HNO_3 concentrado. O sobrenadante foi recolhido em um frasco de 30 mL e reservado para análise.

Extração de metais ligados a materiais orgânicos

Com uma pipeta volumétrica foram adicionados 30 mL de $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ 0,1 M com pH 10 ao resíduo do primeiro tratamento e homogeneizados. O material foi agitado durante 16 horas em um agitador rotatório e centrifugado por 30 minutos a 3.000 rpm. Mediu-se o volume da solução com proveta de 50 mL, filtrou-se em papel de filtro Whatmann 41 e adicionou-se 0,5 mL de HNO_3 concentrado. O sobrenadante foi recolhido em frasco de polietileno de 100 mL e reservado para análises. O resíduo foi lavado adicionando, com pipeta volumétrica, 10 mL de solução de HCl 0,05 M com pH 2. Este foi agitado durante 10 minutos a fim de que somente os metais precipitados remanescentes após a extração fossem eliminados. A centrifugação foi repetida, mediu-se o volume da solução com proveta de 50 mL, filtrou-se em papel de filtro Whatmann 41 e reservou-se o sobrenadante em outro frasco de 30 mL.

Extração de metais ligados a óxidos de ferro e manganês

Com uma bureta foram adicionados ao material proveniente da segunda extração, 20 mL de $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ 0,1 M em 25% de ácido acético (vol/vol) com pH 2. A mistura foi transferida para o frasco de polietileno de 100 mL. A lavagem foi repetida adicionando mais 20 mL da solução de hidroxilamina ao material inicial. Agitou-se durante seis horas a $95 \pm 3^\circ \text{C}$ em banho de água quente, utilizando um agitador rotatório.

Repetiu-se a centrifugação, medida de volume, filtragem, adição de HNO_3 concentrado, recolhimento, lavagem, e reserva do sobrenadante usado para extração

de metais adsorvidos.

Resíduos

Com uma pipeta volumétrica foram adicionados 20 mL de HNO_3 concentrado ao material proveniente da terceira extração. Este foi transferido para o frasco de ataque de amostras do microondas, em PFA, de 100 mL. A lavagem foi repetida acrescentando mais 20 mL de HNO_3 concentrado. No caso de amostras com alta concentração de ferro foi realizada a dissolução com 36 mL de HNO_3 concentrado e 12 mL de HCl . Os frascos foram fechados e colocados no microondas. Utilizou-se o Programa "Extração" do forno, nas seguintes condições: $T = 175 \pm 5^\circ \text{C}$, $P = 70 \text{ Psi}$, potência de 60%, 10 minutos e um estágio. Após esfriar, a solução foi transferida para os tubos da centrífuga e centrifugada durante 30 minutos a 3.000 rpm. Mediu-se o volume da solução com proveta de 50 mL, filtrou-se em papel de filtro Whatmann 41 e adicionou-se 0,5 mL de HNO_3 concentrado. Reservou-se a solução em frasco de polietileno de 100 mL. O resíduo foi lavado adicionando, com pipeta volumétrica, 10 mL de água deionizada. Repetiu a centrifugação, a medida do volume da solução, filtragem e adição de HNO_3 concentrado. O sobrenadante foi recolhido em um frasco de 30 mL e reservado para análise.

Dissolução total da amostra

Com uma proveta adicionaram-se ao resíduo da quarta extração 15 mL de ácido nítrico 1:1. Este foi transferido para o liner do microondas, onde foram adicionados 15 mL de HF 48% e agitados. As bombas foram fechadas e colocada a sonda de pressão no vaso a ser monitorado. Seguiu-se o Programa "Rochas" no forno de microondas ($P = 70 \text{ psi}$, potência de 60%, 30 minutos e um estágio). Após o ataque, as soluções foram transferidas para béqueres de PFA ou PTFE. Os frascos de ataque foram lavados com três porções de 10 mL de água deionizada. Colocados em chapa elétrica a $100\text{-}110^\circ \text{C}$ para eliminar o SiF_6 através de aquecimento. Aquecidos até a quase secagem e deixou-se esfriar até não sair mais fumos. Foram adicionados 3 mL de HNO_3 1:1, aqueceram-se até a secagem total e deixados esfriar por 30 minutos. Foram adicionados mais 10 mL de HNO_3 1:1 e água deionizada. O material precipitado foi aquecido até sua dissolução, esfriado e avolumado para 100 mL.

4.2.2. Enriquecimento da água por cromo na zona saturada

O enriquecimento por cromo, neste caso, estaria ocorrendo na zona saturada, através do contato da água com os solos e sedimentos do Aquífero Adamantina. Nesta etapa da pesquisa foi coletada e analisada água de diversos pontos, incluindo poços tubulares e cacimbas.

4.2.2.1. Cadastro de poços tubulares e cacimbas

Para caracterizar a hidrogeologia da cidade de Urânia foram cadastrados 8 poços tubulares da Sabesp, 16 poços tubulares particulares e 28 poços cacimbas (Anexo 2).

Os dados foram obtidos junto à Sabesp e em visitas às residências. Na Sabesp foi possível adquirir o relatório final da perfuração dos seus poços tubulares. A localização de alguns poços tubulares particulares e cacimbas existentes no perímetro urbano também foi conseguida nesta empresa. Os poços que não estavam mencionados nos registros desta companhia foram cadastrados através de visitas a estas captações e informações verbais de seus proprietários.

O cadastro de poços possui informações como número do poço, nome do proprietário, endereço e localização, cota topográfica, profundidade, níveis estático e dinâmico, vazão, descrição geológica, presença de filtros e cimentação, diâmetro de perfuração e revestimento, equipamento de bombeamento, ano em que foi perfurado e firma construtora, uso da água e outras observações pertinentes.

Os poços receberam denominações de acordo com sua classificação. Assim, os poços tubulares profundos da Sabesp são representados por PPs, os tubulares particulares por PTs e os cacimbas por PCs.

Para obtenção de uma base cartográfica foi confeccionado um mapa do perímetro urbano de Urânia com a localização dos poços. Este mapa foi elaborado a partir da planta de loteamento da cidade, cedida pela Prefeitura Municipal (Mapa Oficial-escala 1:3.000-1991) e do mapa topográfico da região (Folha topográfica de Santa Albertina: região sul do Brasil-escala 1: 50.000-1965).

A partir de medidas dos níveis de águas dos poços cacimbas e da análise dos parâmetros hidrodinâmicos, foi construído um mapa potenciométrico que define o modelo conceitual de circulação das águas subterrâneas em Urânia.

a. Amostragem de águas subterrâneas

Com o objetivo de definir o comportamento hidrogeoquímico do cromo nas águas do Aquífero Adamantina foram desenvolvidas diferentes formas de amostragem.

a.1. Amostragem de água em poços portadores de bombas submersas

A primeira coleta de água subterrânea no município de Urânia, decorrente desta pesquisa, foi realizada em abril de 1997. Nesta ocasião, as águas dos 7 poços tubulares da Sabesp serviam para abastecimento público e todos os poços possuíam bombas submersas.

Cabe ressaltar que, no desenvolver da pesquisa, para diminuir as concentrações de cromo nas águas da cidade, quatro poços tubulares foram desativados. A Sabesp passou a utilizar a mistura de água de seus três poços ativados com as águas do Sistema Aquífero Botucatu, aduzidas do município de Jales. Atualmente são usadas águas apenas da adução.

A qualidade da água subterrânea foi monitorada durante um ano hidrológico. Foram selecionados quatro PPs (três poços ativados e um desativado, porém jorrante), 10 PTs e 14 PCs. Estes poços foram escolhidos por estarem dispostos espacialmente de forma representativa na área de pesquisa.

As coletas de água foram realizadas em junho de 1998, novembro de 1998, março de 1999 e junho de 1999. A variação de intervalos de três a cinco meses foi decorrente da disponibilidade de veículo do IGc-USP para realizar estes trabalhos de campo.

Uma coleta de água em outubro de 1999 foi efetuada em alguns poços e objetivou apenas determinar os teores de sílica, uma vez que nas amostras anteriores estes não tinham sido analisados.

As amostras de água dos poços PPs, PTs e PCs foram retiradas diretamente de suas bocas. A coleta foi executada nos poços que já estavam sendo bombeados a mais de uma hora, sem interrupção ou, após o esgotamento de um volume do poço, no caso de bombas desligadas.

a.2. Amostragem de água em poços desprovidos de bombas submersas

As amostras de água foram coletadas em três PPs (PP 01, PP 06 e PP 08). Neste tipo de amostragem utilizaram-se equipamentos apropriados, pois as captações haviam sido desativadas e não possuíam bombas submersas.

Em junho e novembro de 1998, para as coletas de água foi introduzido um amostrador, constituído de um cilindro de PVC. O equipamento possuía uma válvula em uma das extremidades, que fechava quando estava cheio de água e uma corda de *nylon* na outra, para sua retirada após a coleta.

As coletas de março e junho de 1999 foram efetuadas com uma garrafa amostradora Solinst Discrete Interval Sampler (Mod 425). O funcionamento desta garrafa consiste em bombear para seu interior uma pressão calculada a partir da coluna d'água, introduzi-la dentro do poço até a profundidade preestabelecida, retirar a pressão para que o ar saia e permita a entrada de água. Após a amostragem, colocar a mesma pressão para que se feche e possa ser retirada. Uma vez fora do poço, a pressão é aliviada e a água pode ser coletada.

Em março de 1999 as águas foram coletadas a 20 m, a partir do nível estático, e até onde foi possível descer a garrafa amostradora. Em junho de 1999 os mesmos intervalos de coleta de água foram utilizados para o poço PP 01. Nos outros dois poços coletou-se água em quatro profundidades diferentes, seguindo a coleta estratificada de maio de 1999, descrita a seguir.

a.3. Amostragem de água a diferentes profundidades

Para melhor entender as variações hidrogeoquímicas e o comportamento do cromo no Aquífero Adamantina realizaram-se coletas de água a diferentes profundidades.

Para esta amostragem estratificada, realizada em maio de 1999, foram selecionados os poços desprovidos de bombas submersas PP 06 e PP 08. Antes da coleta de água foi executada a limpeza destes poços com ar comprimido.

A amostragem foi efetuada em quatro profundidades preestabelecidas a partir dos intervalos de filtros. As coletas foram realizadas 24 horas (PP 06 e PP 08-A) e 48 horas (PP 06 e PP 08-B) após a limpeza dos poços. Para tanto foi utilizada a garrafa amostradora descrita anteriormente e que nesta amostragem atingiu 130 m de

profundidade.

A garrafa amostradora permite coletas discretas em profundidades específicas, sem contaminações de outros estratos mais superficiais.

a.4. Amostragem de água a diferentes tempos de bombeamento

As amostras de água coletadas em tempos de bombeamento preestabelecidos foram realizadas para verificar a existência de variações nas concentrações de cromo.

Em março de 1999 foi selecionado para esta amostragem o poço PP 04. Foram coletadas duas amostras nos intervalos de 10 minutos e 6 horas de bombeamento constante.

Em maio de 1999 além do PP 04 também foi escolhido o PP 02. Estes poços estavam ativados e possuíam elevados teores de cromo no decorrer dos anos. Foram coletadas seis amostras de água nos períodos de 15 minutos, 1, 6, 12, 18 e 24 horas de constante bombeamento.

Em junho de 1999 amostrou-se também o poço PP 05 por encontrar-se naturalmente jorrante. As coletas foram realizadas a 10, 30, 60 e 120 minutos de constante derramamento de água.

b. Análises físico-químicas de águas subterrâneas

Alguns parâmetros físico-químicos foram medidos no campo durante as coletas. Para tanto usaram-se os seguintes equipamentos: pH e Eh - pHmetro e Ehmetro 330/SET-1-WTW; oxigênio dissolvido - Oxímetro Oxi 330/SET-WTW; condutividade elétrica - Condutivímetro LF330/SET-WTW; temperatura do ar e da água - termômetro do oxímetro; Cr^{6+} - jogo de reativos Aquaquant, 1.14402 da MERCK, com medidas variando no intervalo de 0,00-0,1 mg/L.

Cabe ressaltar que o Ehmetro utilizado no campo possui um eletrodo de cloreto de prata e não de hidrogênio. Por isso, nas medidas de Eh acrescentaram-se 250 mV para fazer a correção.

Mediu-se também durante as coletas de água a alcalinidade total e parcial, determinadas por titulação com ácido sulfúrico. Na primeira usou-se indicador misto e na outra, fenolftaleína.

Após as coletas, as amostras foram filtradas com uma bomba peristáltica

GEOPUMP 2, conectada a um *holder* que continha o papel de filtro de 0,45 µm. Cada amostra foi então armazenada em três frascos novos de polietileno, com volume de 100 mL. Em um dos frascos foram colocadas cinco gotas de H₂SO₄ 1:1 (pH < 2) para análise de sódio e potássio. No outro, foram adicionadas cinco gotas de HNO₃ 1:1 (pH < 2) para determinação dos cátions restantes. E o terceiro frasco foi congelado para análises de ânions.

A análise de Cr⁶⁺ da campanha de junho de 1998 foi executada no IGc-USP. Para sua determinação utilizaram-se 50 mL de água resfriada a 4°C e o Espectrofotômetro HACH, modelo Dr/2000, com o método difenilcarbohidrazida.

As amostras foram encaminhadas para o Laboratório do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (Cepas-IGc-USP). Foram analisados os seguintes parâmetros: Ag⁺, Al³⁺, Ba²⁺, Br⁻, Ca²⁺, Cd⁺, Cl⁻, Cr total, Cu²⁺, Fe total, F⁻, K⁺, Mg²⁺, Mn²⁺, Na⁺, Ni⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, Pb²⁺, PO₄³⁻, SO₄²⁻, Sr²⁺, Zn²⁺.

Os equipamentos e métodos analíticos empregados por este laboratório para determinação dos parâmetros químicos das amostras de águas foram:

-K⁺ e Na⁺: Espectrofotômetro de Chama, modelo B262 da MICRONAL-Espectrofotometria de Chama;

-demais cátions: Espectrômetro de Absorção Atômica CG AA7000 BC-Espectrometria de Absorção Atômica;

-ânions: Cromatógrafo de Íons, modelo 2010i da DIONEX-Cromatografia Líquida.

A análise de sílica foi executada no laboratório da TCA - Empresa de Apoio Tecnológico, Consultoria Ambiental e Comércio Ltda. O método de análise foi baseado na 19ª edição do "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater".

c. Análise dos resultados obtidos para a zona saturada

Para avaliar o erro analítico das análises químicas de água foi calculado o balanço iônico. Em uma análise hidroquímica completa, a concentração total de cátions deve ser aproximadamente igual à concentração total de ânions. O desvio percentual desta igualdade é determinado pelo coeficiente de erro da análise, da seguinte forma:

$$\text{erro (\%)} = 100 (\sum \text{cátions} - \sum \text{ânions} / \sum \text{cátions} + \sum \text{ânions}) \quad (7)$$

A diferença entre cátions e ânions maiores (sódio, potássio, cálcio, magnésio,

cloreto, sulfato, nitrato, hidrogeno-carbonato e carbonato) expressos em meq/L, não devem ultrapassar 10%, sendo que amostras com resultados acima deste valor não foram consideradas.

Com os resultados das análises químicas foram confeccionados diagramas de Piper, que permitiram classificar as águas dos PPs, PTs e PCs. O programa utilizado para este fim foi o Hydro Chem, adquirido via Internet no site da Rock Ware Earth Science Software.

Análises estatísticas utilizando-se a relação de Pearson, permitiram definir relações físico-químicas entre amostras.

A análise química completa das águas subterrâneas foi usada, conjuntamente com a descrição mineralógica, para definir as possíveis relações hidroquímicas existentes no sistema rocha-água subterrânea. Para tanto, fez-se uso do modelo matemático de equilíbrio químico MINTEQA2-Version 4.0 (ALLISON *et al.*, 1991; USEPA, 1998). Neste modelo foram analisadas água de três poços, de forma que fossem representativos da área de estudo:

- o poço tubular da Sabesp (PP 04) representa a zona inferior do aquífero. A amostra de água foi coletada em 14-05-1999, após 24 horas de constante bombeamento. Esta amostra foi selecionada por apresentar a mais elevada concentração de cromo total (0,12 mg/L);
- o poço tubular particular (PT 16) é representante da zona intermediária do aquífero. A amostragem de água foi executada em 08-03-1999. Este poço foi escolhido por ser utilizado constantemente e por sua amostra ter apresentado uma das maiores concentrações de cromo total (0,02 mg/L) e valores baixos de nitrato (2,56 mg/L);
- o poço cacimba (PC 07) está situado na zona superior do aquífero. A água foi coletada em 22-06-1999, apresenta teor elevado de cromo total para este tipo de poço (0,02 mg/L), porém, a concentração de nitrato, como em quase todos os poços cacimbas, também é elevada (50,29 mg/L). Como este poço está sempre funcionando, pois é a única forma de abastecer a residência, a água amostrada é representante do aquífero.

No modelo de equilíbrio químico, além da situação real, onde os valores de pH e Eh foram mantidos iguais à amostra original, foram simuladas três situações hidroquímicas:

- 1ª) a temperatura da água do PP 04 foi mudada de 26,4° C para 6,4° C;
- 2ª) os valores de pH foram modificados de 4 a 10;

3ª) os valores de pe foram modificados de -10 a +15.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo discute os resultados obtidos na pesquisa para decidir entre as duas hipóteses básicas que define a origem do cromo nas águas subterrâneas de Urânia. Além do mais, é determinado o principal mecanismo hidrogeoquímico que controla a partição do cromo no sistema rocha-água.

Uma das hipóteses, a antrópica, foi esclarecida a partir de uma inspeção para verificar a existência de indústrias, curtumes, minerações, atividades agrícolas ou outras fontes potenciais contaminantes de cromo. O complemento deste estudo deu-se através da referências bibliográficas e contatos com centros de pesquisas especializados no assunto.

A outra hipótese, onde a origem do cromo é natural, foi elucidada através da investigação das zonas não-saturada e saturada do Aquífero Adamantina, onde poderiam existir duas formas de enriquecimento da água por este metal, inclusive complementarmente. Os ensaios na zona não-saturada basearam-se na coleta de amostras de solos e sedimentos para análises macroscópica, granulométrica, química, mineralógica e extração sequencial. Na zona saturada foram cadastrados poços tubulares e cacimbas de Urânia, definido o modelo conceitual de circulação das águas subterrâneas, amostradas e analisadas as águas destes poços.

5.1. ORIGEM ANTRÓPICA

O levantamento de fontes antrópicas potenciais de cromo nas águas subterrâneas de Urânia apontou a inexistência de indústrias, curtumes e minerações, mesmo no passado. Os lodos de curtumes, que atualmente vêm sendo depositados nos solos de algumas regiões, servindo como adubos, também não foram aplicados na área, pelo menos em períodos que antecederam as primeiras detecções de cromo nas águas subterrâneas da cidade.

Como Urânia situa-se em uma região onde predomina a agricultura, a grande preocupação foi esclarecer a possível presença de cromo nos defensivos agrícolas e fertilizantes utilizados.

Os municípios da região noroeste do Estado de São Paulo apresentam características de ocupação similares, bem como de suas configurações econômicas e

de clima. O povoamento acompanhou a marcha da cultura cafeeira e foi decorrente do avanço da ferrovia. O desenvolvimento de atividades agrícolas e pecuárias permitiu a fixação de pequenas aglomerações urbanas as quais posteriormente se transformaram em cidades.

A economia do noroeste paulista está voltada principalmente ao setor primário. As atividades industriais e comerciais só passaram a ter expressão nos últimos anos e, predominam nas cidades de maior porte, como Jales, Fernandópolis, Votuporanga e São José do Rio Preto.

Urânia foi fundada no dia 13 de junho de 1950 por Benedito Pinto Ferreira Braga e um grupo de pioneiros que a ele se uniu. Três anos depois, Urânia passou a ser distrito. Em 1959, elevou-se a município. A cidade surgiu em função da fertilidade do solo, para atender as necessidades da população radicada na lavoura. Atraída pelas riquezas que circulam na região, a população cresceu e deu impulso à agricultura florescente, marcada pelas produções estaduais de café, milho, arroz e algodão. Paralelamente ao trato da terra, as grandes extensões livres acolheram os criadores de gado leiteiro e de corte.

Segundo o agrônomo da Prefeitura Municipal de Urânia, Edmar José Ferrari e antigos moradores responsáveis pelas vendas e distribuição de defensivos agrícolas e fertilizantes, senhores Jumbo Nishi e Jacinto Nunes Dourado, no período de 1950 a 1990 predominou no município a cultura do algodão, seguida pelo café. O milho, o arroz e o amendoim foram cultivados em menor escala. A pastagem atingiu um maior crescimento a partir do início de 1970. A laranja e a uva começaram a ser plantadas nas décadas de 1980 e 1990, respectivamente.

No plantio do algodão e café utilizaram-se defensivos agrícolas. Nas décadas de 1950 e 1960 usaram-se no algodão os seguintes inseticidas: Aldrin ($C_{12}H_8Cl_6$), BHC ($C_6H_6Cl_6$), DDT ($C_{14}H_9Cl_5$), Furadan ($C_{12}H_{15}NO$), Parathion ($C_{10}H_{14}NO_5PS$). Estes produtos eram fabricados pela Bayer S.A., Laboratório Pfizer Ltda., Rhodia Agro Ltda, Shell Brasil S.A. e Quimbrasil Serrana.

Na cultura do café, na década de 1950, também foram utilizados o Aldrin, BHC e Furadan.

Um estudo sobre as composições químicas de 509 defensivos agrícolas colocados à venda no Brasil não abordou o cromo. Encontravam-se os seguintes componentes menores: alumínio, arsênio, bromo, cálcio, carbono, cloro, cobre, enxofre,

estanho, flúor, fósforo, hidrogênio, manganês, magnésio, molibdênio, nitrogênio, oxigênio, potássio, silício e zinco (ANDREI, 1993).

As fórmulas moleculares de solventes, herbicidas, inseticidas, fungicidas e outras substâncias que normalmente são utilizadas em regiões agrícolas também não são compostas por cromo. Apresentam os seguintes elementos: bromo, carbono, cloro, enxofre, flúor, fósforo, hidrogênio, iodo, nitrogênio e oxigênio (MONTGOMERY, 1996).

Em Urânia os fertilizantes à base de nitrogênio-fósforo-potássio (NPK) foram aplicados na laranja. Estes fertilizantes apresentavam os seguintes micronutrientes: boro, manganês, molibdênio e zinco.

Entretanto, a pesquisa bibliográfica e os contatos com centros especializados indicaram a presença de cromo em fertilizantes. ADRIANO (1986), em sua revisão bibliográfica sobre elementos traços em fertilizantes, encontra em uma rocha fosfatada o valor de 485 ppm como sendo a maior concentração de cromo.

Uma pesquisa realizada no Departamento de Química da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo-ESALQ-USP determinou os teores de metais pesados em fertilizantes, calcários e fontes de micronutrientes (GABE & RODELLA, 1999). Os autores avaliaram 12 elementos presentes em 60 amostras de fertilizantes e outros corretivos do solo que são vendidos no Brasil. Os elementos analisados foram: boro, ferro, manganês, cobre, zinco, níquel, cobalto, cádmio, cromo, chumbo, bário e estrôncio. Esta pesquisa detectou concentrações de cromo (média $\pm$ desvio padrão) em três amostras de rochas fosfatadas fundidas de Minas Gerais ($938 \pm 19,0$; $1070 \pm 104,0$ e $949 \pm 26,0$ ppm).

Uma coletânea bibliográfica foi desenvolvida através da pesquisa de 111 resumos abordando os efeitos de pesticidas e fertilizantes minerais solúveis sobre o ambiente, em diversos países, no período de 1976-1998 (MAFRA *et al.* 1998a; MAFRA *et al.* 1998b). Deu-se ênfase à contaminação do solo e dos recursos hídricos. Esta pesquisa mostrou a inexistência de trabalhos envolvendo o cromo nos sistemas agrícolas.

Foi confirmado através das entrevistas realizadas em Urânia que na área da ZOC, onde foram coletadas as amostras de solos, sedimentos e águas do poço PP 06, nenhum tipo de defensivo agrícola, lodo de curtume e fertilizante foi aplicado. Isto corrobora a hipótese de que a origem do cromo é natural, uma vez que a pesquisa bibliográfica indicou que os defensivos agrícolas utilizados no município de Urânia não continham cromo. Apesar de alguns fertilizantes detectados na pesquisa bibliográfica

apresentarem concentrações de cromo, sua aplicação em Urânia começou na década de 1980 e os elevados teores de cromo nas águas subterrâneas já haviam sido detectados desde a década de 1970.

5.2. ORIGEM NATURAL

5.2.1. Enriquecimento da água por cromo na zona não-saturada

O estudo na zona não-saturada baseou-se nas análises macroscópica, granulométrica, química, mineralógica e extração sequencial de amostras de solos e sedimentos de pontos distribuídos na ZOC e do PC, escavado para esta pesquisa. As amostras da ZOC representam as profundidades 0,4; 1,0; 2,0 e 2,5 m. As amostras do PC foram obtidas ao longo do perfil do poço, nas profundidades de 0,4 a 11,5 m.

Além destas amostras, foram ainda consideradas as duas amostras de solos da cidade de Urânia (A4-M e A6-M), coletadas a 0,2 m de profundidade e escolhidas por serem conhecidos seus teores de cromo (ALMODOVAR, 1995).

a. Análise macroscópica

A análise macroscópica de 19 amostras de solos coletadas na ZOC e duas na cidade de Urânia, até 2,5 m de profundidade, indicou que estas são constituídas de areia fina siltosa a muito argilosa, de cor marrom, variando as tonalidades de clara a escura e avermelhada.

As 14 amostras de solos e sedimentos retiradas durante a escavação do PC, até 11,5 m de profundidade, são representadas por areia fina siltosa de cor marrom escuro a claro, com níveis mais argilosos cinza claro e alguns grânulos lateríticos.

A cor marrom escuro está associada a quantidades significativas de matéria orgânica e a tonalidade avermelhada estabelece concentrações mais elevadas de Fe_2O_3 . Os grânulos lateríticos são constituídos principalmente por hidróxido de alumínio e o de ferro.

A descrição da análise macroscópica encontra-se no Anexo 3.

b. Análise granulométrica

Os resultados da análise granulométrica de 12 amostras de solos coletadas até 2,5 m de profundidade, na ZOC e na cidade de Urânia e, analisadas através do Método de Pipetagem e Peneiramento encontram-se no Anexo 4. O programa MOMENTO 3 versão wk4 adota uma divisão da faixa granulométrica em fração cascalho, areia e pelitos. A fração cascalho é representada por grânulos em apenas cinco amostras das 12 analisadas e, sua porcentagem é muito baixa (0,03-4,21%). A fração areia fina (33,75-36,81%) predomina sobre a areia muito fina (22,93-29,93%), exceto nas amostras A4-M e A6-M e esta, sobre a areia média (3,47-10,44%). Nas frações areia grossa e muito grossa, ocorre uma variação, não sendo determinada qual destas frações é predominante. A porcentagem de argila varia de 8,70 a 27,21%. Conclui-se então, que a faixa granulométrica das amostras analisadas é representada por areia (53,77-77,37%), argila (18,41-46,23%) e cascalho (0,00-4,21%).

No Anexo 4 também estão os resultados da análise granulométrica de 14 amostras de solos e sedimentos do PC, coletadas até 11,5 m de profundidade e avaliadas pelo Método de Espectroscopia de Photon Correlação. Estas amostras são compostas predominantemente por areia fina (43,92-64,53%), silte (7,47-41,42%), areia média (8,29-30,91%) e areia grossa (0,87-12,68%). Com a utilização deste procedimento de análise não foram determinados teores de argila nas amostras. Estes dados revelam que pode estar havendo problemas metodológicos para a análise granulométrica.

Através da ilustração a seguir (Figura 7) é possível observar que no intervalo de 0,4 a 8,0 m de profundidade as porcentagens de silte tendem a aumentar e as frações arenosas a diminuir. A partir de 9,0 m até a profundidade final do PC, as quantidades de silte e areias estão distribuídas de forma heterogênea.

Figura 7: Variação das porcentagens de silte, areia fina, areia média e areia grossa em relação à profundidade de coleta de amostras de solos e sedimentos do PC.

c. Análise de cromo na água utilizada para o peneiramento via úmida

A análise da água deionizada que serviu para lavagem das amostras de solo, no peneiramento via úmida, detectou cromo (Tabela 5). Estas amostras foram coletadas durante a perfuração do PC, na zona não-saturada em três diferentes profundidades.

Os resultados indicam que:

- o cromo já estaria solubilizado no espaço intergranular do solo;
- a lavagem das amostras favoreceria a dissolução de minerais portadores deste elemento (pouco provável);
- as concentrações anômalas de cromo na água também poderiam ser decorrentes das duas interpretações anteriores, que atuariam de forma complementar.

Tabela 5: Teores de cromo total detectados na água deionizada (peneiramento via úmida)

Amostras	Profundidades (m)	Cr total (mg/L)
PC-1,0-T	1,0	0,47
PC-6,0-T	6,0	0,76
PC-9,5-T	9,5	0,19

d. Análise química

Duas diferentes técnicas analíticas, FRX e ICP-AES foram utilizadas para a análise química de solos e possibilitou a detecção dos teores dos elementos maiores, menores e traços.

Testes comparativos entre os dois métodos foram feitos mostrando que os resultados obtidos através do ICP-AES são mais próximos do real, uma vez que as interferências são reduzidas devido à solubilização da amostra e por terem sido utilizados padrões de solos.

Apesar dos resultados obtidos através da FRX e do ICP-AES serem um conjunto de dados intrinsecamente semelhante (Tabela 6), optou-se por tratar de forma estatística apenas os resultados do ICP-AES, devido à sua maior precisão.

No Anexo 5 encontram-se os resultados da análises químicas por FRX e ICP-AES.

d.1. ICP-AES

As amostras de solos da cidade de Urânia (A4-M e A6-M), nas quais já tinham sido detectadas as concentrações de cromo através do ICP-AES (ALMODOVAR, 1995) foram refeitas. A nova análise foi realizada para confirmação, uma vez que na pesquisa citada, o ICP-AES estava começando a entrar em rotina. Dos resultados foi possível observar que a amostra A4-M, que mostrou o valor de 561 ppm de cromo em 1995, nesta última análise apresentou 219 ppm e 251 ppm (A4-MT). Cabe ressaltar que a amostra A4-MT é uma duplicata da A4-M. A amostra

Tabela 6: Média dos teores dos elementos analisados por FRX e ICP-AES

Elementos	Técnicas analíticas			
	FRX	ICP-AES	FRX	ICP-AES
	Amostras da ZOC (19 amostras)		Amostras de Urânia (2 amostras)	
	(%)	(%)	(%)	(%)
SiO ₂	72,44	83,52	72,05	78,29
Al ₂ O ₃	8,77	7,20	7,28	6,94
Fe ₂ O ₃	4,00	3,62	7,15	6,50
MgO	0,13	0,11	0,86	0,78
CaO	0,05	0,10	0,09	0,11
K ₂ O	0,09	0,11	0,95	0,95
P ₂ O ₅	0,03	0,01	0,06	0,04
MnO	0,03	0,03	0,08	0,10
TiO ₂	1,93	1,82	2,11	2,05
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
Ba	72	46	335	249
Cr	178	219	191	244
Ni	25	27	52	61
Sr	7	19	31	39
V	159	104	194	143
Zr	645	300	678	399

Amostras da ZOC: A2, A4, A5, A6, A7 E A8 (coletadas nas profundidades de 0,4 a 2,5 m)

Amostras de Urânia: A4-M e A6-M (coletada a 0,2 m de profundidade)

A6-M de 231 ppm de cromo na análise anterior, chegou ao valor de 268 ppm.

A diferença significativa no teor de cromo da mesma amostra (A4-M) analisada em períodos diferentes pode ser devido à presença de alguns grãos de cromita, os quais não ocorreriam na porção de solo analisada pela segunda vez. Esta interpretação é baseada no fato de que grãos dispersos de cromita foram detectados nos minerais pesados desta amostra, através do MEV.

As amostras A4-0,4-T, A4-M-FL, A1-FL, PC-2,0-T, PC-6,0-T, PC-6,0-F e PC-9,0-T foram analisadas em duplicata. Os resultados são semelhantes, mostrando uma boa reprodução dos dados.

A amostra A4-M-FL corresponde a fração grossa (0,177-0,125 mm) representada pelo material flutuado obtido durante a separação de minerais pesados com o bromofórmio. Esta amostra é constituída por uma grande quantidade de SiO₂ (98,65%). O teor de Cr foi bastante baixo (10 ppm).

Os cálculos estatísticos para as análises químicas de solos da ZOC, solos e sedimentos do PC podem ser vistos no Anexo 6. As relações encontradas apresentam valores próximos a -1, significando que os parâmetros são inversamente proporcionais

e valores próximos a +1, mostrando que os parâmetros são diretamente proporcionais (Tabela 7).

A partir destes resultados foram construídos gráficos onde é possível visualizar o comportamento do Cr em relação ao Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , V e Zr (Figura 8).

Tabela 7: Correlações entre os parâmetros químicos analisados nas amostras da ZOC e do PC

Correlações positivas		Correlações negativas	
ZOC	PC	ZOC	PC
<ul style="list-style-type: none"> • Fe_2O_3 com TiO_2, Cr, V e Zr • MgO com K_2O • MnO com TiO_2 • TiO_2 com Cr e V • Cr com V • V com Zr 	<ul style="list-style-type: none"> • Al_2O_3 com TiO_2 • Fe_2O_3 com MgO, CaO, Na_2O, K_2O, MnO, Ba e Sr • MgO com CaO, Na_2O, K_2O, MnO, Ba, Ni e Sr • CaO com Na_2O, K_2O, MnO, Ba, Ni e Sr • Na_2O com K_2O, MnO, Ba e Sr • K_2O com MnO, Ba e Sr • MnO com Ba, Ni e Sr • TiO_2 com Cr, V e Zr • Ba com Sr • Cr com V e Zr • V com Zr 	<ul style="list-style-type: none"> • Al_2O_3 com Fe_2O_3, Cr e Zr 	<ul style="list-style-type: none"> • SiO_2 com Al_2O_3, Fe_2O_3, MgO, CaO, Na_2O, K_2O, MnO, Ni e Sr

d.1.1. Comportamento dos elementos maiores, menores e traços ao longo do perfil de alteração do solo (fração total)

Os gráficos das Figuras 9 e 10 ilustram o comportamento dos parâmetros químicos analisados nos solos e sedimentos do PC ao longo da profundidade de coleta das amostras. É possível observar que:

Figura 8: Correlação entre os teores de Cr e os teores de Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , V e Zr nas amostras de solos da ZOC e de solos e sedimentos do poço cacimba (PC).

Figura 9: Variação dos teores de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O , CaO , MgO , Na_2O e MnO em relação à profundidade de coleta de amostras de solos e sedimentos do poço cacimba (PC).

Figura 10: Variação dos teores de Ba, Cr, V, Zr, Ni e Sr em relação à profundidade de coleta de amostras de solos e sedimentos do poço cacimba (PC).

SiO₂ : as maiores concentrações encontram-se nas profundidades de 7,2 e 9,5 m. Estes resultados indicam boa correlação com a descrição do perfil geológico do PC e com a análise granulométrica. A 7,2 m a amostra é descrita como um arenito menos alterado e a 9,5 m como uma areia fina bem selecionada. A porcentagem da fração areia é elevada na amostra 9,5 m.

Al₂O₃, Fe₂O₃ e TiO₂: as concentrações de Al₂O₃ e Fe₂O₃ são mais elevadas nas profundidades 7,0, 8,0, 9,0 e 10,5 m. Estes valores podem estar associados a presença de grânulos lateríticos intercalados com a areia fina siltosa, detectados durante a análise macroscópica destas amostras. Também ocorrem nestas profundidades elevadas porcentagens da fração silte, que devem ser responsáveis por estas quantidades de óxidos. Não considerando a amostra 7,2 m que é um arenito menos alterado, os teores de TiO₂ aumentam até 9,0 m de profundidade.

K₂O, CaO e MgO: as concentrações de K₂O, CaO e MgO aumentam ao longo do perfil do poço. A partir de 8,0 m de profundidade os teores destes óxidos se elevam significativamente. O máximo valor é encontrado em 10,5 m, coincidindo com os maiores picos de Al₂O₃, Fe₂O₃, Na₂O, MnO, Ba, Ni e Sr.

Na₂O e MnO: as concentrações de Na₂O são aproximadamente constantes ao longo do perfil do poço, até 7,2 m. De 8,0 a 11,5 m sofrem um aumento significativo. Os maiores valores de MnO foram detectados nas profundidades 9,0, 10,5 e 11,5 m.

Cr, V e Zr: na profundidade de 7,0 m encontram-se as maiores concentrações de Cr, V e Zr e estão associadas a uma areia fina siltosa marrom clara com níveis mais argilosos cinza claro e grânulos lateríticos.

Ba: no intervalo de 3,0 a 9,0 m ocorre um aumento das concentrações de Ba. Na profundidade 9,5 m, onde a porcentagem da fração silte é pequena, o teor deste elemento cai.

Sr e Ni: os teores de Sr aumentam de 4,0 a 9,0 m de profundidade. Os teores de Ni se elevam de 5,0 a 7,0 m e, se não considerar a profundidade 9,5 m, onde a porcentagem de silte é pequena, de 8 a 11,5 m.

BERTOLO (2000) verificou, através de estudos realizados no PC, a existência de quatro ambientes hidroquímicos ao longo das zonas não-saturada e saturada. No primeiro, entre 0,4 e 3,0 m, predominam os fenômenos de evaporação e infiltração próximos da superfície e a ocorrência de diluição dos principais constituintes. No segundo nível, entre 3,0 e 7,0 m há uma maior concentração de sais em solução. No terceiro nível, na base da zona não-saturada, de 7,0 até 9,0 m, ocorre o contrário do segundo nível, ou seja, a diminuição dos teores de sais na solução. No quarto nível, entre 9,0 e 11,5 m, já no aquífero freático, ocorre novamente o inverso, aumentando os sais em solução.

É possível fazer uma correlação dos teores de cromo com a pesquisa anteriormente citada. Através da Figura 10 pode-se constatar que o cromo nas amostras de solos e sedimentos do PC apresenta um comportamento semelhante em cada ambiente hidroquímico. Assim sendo, de 0,4 m a 3,0 m, suas concentrações são aproximadamente constantes. No intervalo de 3,0 a 7,0 m seus teores tendem a aumentar com a profundidade. No nível de 7,0 a 9,0 m estão seus maiores valores, sendo que a franja capilar encontra-se nas profundidades de 8,0 a 9,0 m. De 9,0 a 11,5 m o cromo diminui. A menor concentração de cromo foi detectada a 9,5 m, sendo esta profundidade muito próxima a do nível d'água (9,78 m). Este dado indica que pode ter ocorrido a solubilização dos minerais portadores de cromo devido a interação água-rocha.

d.1.2. Elementos maiores, menores e traços (frações fina e grossa-flutuado, afundado)

Nas Figuras 11 e 12 é possível visualizar as variações dos parâmetros químicos analisados nas frações fina (< 635 mesh) e grossa (>635 mesh-flutuado e afundado).

Figura 11: Variação dos teores de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O e P₂O₅ nas frações fina (< 635 mesh) e grossa (> 635 mesh - flutuado e afundado).

Figura 12: Variação dos teores de MnO, TiO₂, Ba, Cr, Ni, Sr, V e Zr nas frações fina (< 635 mesh) e grossa (> 635 mesh - flutuado e afundado).

Na Tabela 8 encontram-se resumidas as variações dos parâmetros químicos analisados nas frações fina e grossa (flutuado e afundado). É possível observar que o Fe_2O_3 , MnO , TiO_2 , Cr , V e Zr apresentam um comportamento semelhante, predominando na fração grossa-afundado, fina e grossa-flutuado. É conveniente ressaltar que a fração grossa-afundado é representada pelos minerais pesados.

O MgO e o Sr também são similares, sendo seus maiores teores detectados na fração grossa-afundado, fina e grossa-flutuado. Na profundidade de 9,5 m, as concentrações na fração fina são mais elevadas do que na fração grossa-afundado.

e. Análise Mineralógica

A análise mineralógica, desenvolvida através das técnicas de DRX, Microscopia Óptica e MEV, permitiu definir os minerais presentes e aqueles portadores de cromo. A separação das amostras em diferentes frações visou facilitar a identificação de minerais cromíferos.

e.1. DRX

Os resultados das análises de solos, sedimentos e rochas por DRX e alguns difratogramas para ilustração encontram-se no Anexo 7.

Fração total: a análise mineralógica das amostras representadas pela fração total de solos e sedimento, constituintes do Aquífero Adamantina, indicou a presença de quartzo, goetita, hematita e minerais dos grupos do feldspato e da caulinita. Segundo o INTERNATIONAL CENTRE FOR DIFFRACTION DATA (1995), existem vários grupos de minerais, como da caulinita, feldspato e outros. Com o emprego apenas da técnica de DRX não é possível determinar com exatidão quais minerais são os representativos destes grupos nas amostras de solos e sedimentos de Urânia.

Na única amostra mais sã de arenito, coletada a 7,2 m de profundidade, no PC, detectou-se quartzo e minerais do grupo da caulinita.

Nas amostras de basaltos do Aquífero Serra Geral foram identificados hematita, ilmenita, minerais do grupo do feldspato e um mineral com reflexão de $14 \text{ \AA}$, que poderia ser dos grupos da clorita, esmectita, vermiculita ou zeólita e necessitaria de estudos específicos para sua determinação.

Tabela 8: Variações dos parâmetros químicos analisados nas frações fina (F) e grossa-flutuado (FI) e afundado (A)

Amostras	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	TiO ₂	Ba	Cr	Ni	Sr	V	Zr
A1	FI>F>A	F>A>FI	A>F>FI	A>F>FI	F>FI>A	A>F=FI	F>FI>A	F>A>FI	A>F>FI	A>F>FI	F>FI>A	A>F>FI	F>A>FI	A>F>FI	A>F>FI	A>F>FI
A2	FI>F>A	F>A>FI	A>F>FI	A>F>FI	A>F>FI	A>F=FI	F>FI>A	F>A>FI	A>F>FI	A>F>FI	A>F>FI	A>F>FI	A>F>FI	A>F>FI	A>F>FI	A>F>FI
PC-1,0	FI>F>A	F>A>FI	A>F>FI	A>F>FI	A>F>FI	A>F>FI	F>A>FI	F>A>FI	A>F>FI	A>F>FI	F>A>FI	A>F>FI	F>A>FI	A>F>FI	A>F>FI	A>F>FI
PC-6,0	FI>F>A	F>A>FI	A>F>FI	A>F>FI	A>F>FI	A>F>FI	F>A>FI	F=A>FI	A>F>FI	A>F>FI	F>A>FI	A>F>FI	F>A>FI	A>F>FI	A>F>FI	A>F>FI
PC-9,5	FI>F>A	F>A>FI	A>F>FI	F>A>FI	F>A>FI	A>F>FI	F>FI>A	F>A>FI	A>F>FI	A>F>FI	F>A>FI	A>F>FI	A>F>FI	F>A>FI	A>F>FI	A>F>FI

A1 e A2: amostras de solos da ZOC

PC: amostras de solos e sedimentos do PC, coletas nas profundidades de 1,0; 6,0 e 9,5 m

Fração argila (separada durante a análise granulométrica): na fração argila das amostras de solos estavam presentes illita, muscovita e minerais do grupo da caulinita.

Frações grossa, fina e do prato (separadas por peneiramento via seca): as frações grossa (0,177-0,125 mm), fina (0,088-0,062 mm) e do prato (< 0,062 mm) dos minerais não-magnéticos eram compostas por hematita, goetita, quartzo, braunita e minerais do grupo do feldspato. Estas mesmas frações dos minerais magnéticos foram representadas por magnetita, ilmenita e hematita.

Frações fina e grossa (separadas por peneiramento via úmida): na fração fina (<635 *mesh*) detectou-se quartzo, dolomita, gipso, hematita, goetita, minerais do grupo da caulinita e mais uma vez um mineral com reflexão de 14 Å. Na fração grossa-flutuado (>635 *mesh*) estavam presentes o quartzo e minerais do grupo do feldspato. A fração grossa-afundado (>635 *mesh*) identificou-se rutilo, magnetita, hematita, quartzo, ilmenita, zircão, ilmenorutilo, goetita, magnesita, zincocromita e minerais do grupo do feldspato. Os minerais pesados (afundado) foram separados dos leves durante o peneiramento via seca e úmida através do bromofórmio (2,89 kg/L). O quartzo apesar de ser um mineral leve, com densidade em torno de 2,60 kg/L, muitas vezes encontrou-se agregado aos grãos dos minerais pesados e passa como se fosse mais denso que o bromofórmio. Isto também pode ter ocorrido com outros minerais leves que apresentaram-se junto aos pesados.

Amostras de sedimentos da Formação Adamantina coletadas na região de São José do Rio Preto e analisadas por DRX indicaram a presença de quartzo, feldspato, argilominerais dos grupos da illita, esmectita e caulinita. Os minerais pesados detectados nestas amostras foram: cianita, hornblenda, estauroлита, sillimanita, turmalina, epídoto, rutilo, tremolita, zircão, granada, espinélio, fibrolita, ilmenita e magnetita (IPT, 1994).

O IPT também analisou amostras de basaltos da Formação Serra Geral e arenito da Formação Adamantina da região de São José do Rio Preto. A determinação mineralógica foi desenvolvida através de análises petrográficas executadas em microscópio óptico de luz transmitida. As amostras de basaltos apresentaram os seguintes minerais: plagioclásio (andesina-labradorita), clinopiroxênio (augita), magnetita, zeólita, traços de apatita e carbonato, além de vidro devitrificado ocupando

os espaços intergranulares. Uma amostra de arenito cimentado por calcita indicou a presença de quartzo, feldspatos, augita, muscovita, perovskita e prováveis fragmentos de basaltos.

e.2. Microscopia Óptica

A microscopia de luz refletida para as seções polidas (A4-M-P-FG e A4-M-PM-FG-fração grossa de minerais pesados não-magnéticos e magnéticos separados por via seca) e seções delgadas polidas (A1-A, A2-A, PC-1,0-A, PC-6,0-A e PC-9,5-A-fração grossa de minerais pesados separados por via úmida) identificou os seguintes minerais: hematita, magnetita, ilmenita e goetita.

Alguns minerais apresentaram-se muito alterados devido a processos como oxidação e/ou intemperismo. Isto dificultou determinar pontos de interesse, ou seja, as variações de fases para que fossem detectadas posteriormente suas composições químicas através do MEV.

A microscopia de luz transmitida das amostras da fração total (A1-T, A2-T, PC-1,0-T, PC-6,0-T, PC-9,5-T) objetivou apenas a identificação dos minerais e não permitiu verificar as micromorfologias e a cimentação das argilas, pois as amostras eram deformadas. Os minerais presentes na fração total eram basicamente o quartzo, o feldspato, a turmalina, o zircão, o rutilo e o epídoto. Todas as amostras apresentaram grãos envolvidos por uma película ferruginosa (Tabela 9).

Os minerais pesados como turmalina, zircão e rutilo já haviam sido reconhecidos por BRANDT NETO (1977) nos sedimentos da Formação Adamantina. COIMBRA (1976) identificou além destes minerais, o epídoto.

e.3. MEV

Com a utilização do MEV foi possível definir quais os minerais pesados possuíam cromo e estavam presentes nos solos.

Os minerais pesados foram separados por peneiramento e bromofórmio. Pode-se comprovar através da utilização do MEV que o peneiramento a úmido é mais eficiente do que o peneiramento a seco, uma vez que o primeiro impede que partículas de argila permaneçam agregadas nas outras frações.

Tabela 9: Análise da fração total do solo por Microscopia Óptica

Amostras	Local de coleta	Mineralogia
A1-T	ZOC (A2-0,4; A2-1,0; A2-2,0; A2-2,5)	quartzo, argila impregnada com ferro, turmalina, feldspato e grãos envolvidos por uma película ferruginosa
A2-T	ZOC (A5-1,0; A6-1,0; A7-1,0)	quartzo, turmalina, feldspato, zircão e grãos envolvidos por uma película ferruginosa
PC-1,0-T	PC a 1,0 m de profundidade	quartzo, feldspato, zircão, rutilo e grãos envolvidos por uma película ferruginosa
PC-6,0-T	PC a 6,0 m de profundidade	quartzo, quartzo com inclusões de rutilo, feldspato, zircão, turmalina, argila impregnada com ferro, epidoto e grãos envolvidos por uma película ferruginosa
PC-9,5-T	PC a 9,5 m de profundidade	quartzo, feldspato, epidoto, sílex, argila, zircão, matéria orgânica e grãos envolvidos por uma película ferruginosa

Os minerais portadores de cromo detectados através do MEV, a descrição das frações granulométricas, tipos de separação, local de coleta e composições químicas encontram-se no Anexo 8.

Os minerais pesados constituintes da fração grossa (minerais de 1 a 24-vide Anexo 8) são representados pelo Grupo dos Espinélios (cromita- FeCr_2O_4 , magnetita- Fe_3O_4 , espinélio- MgAl_2O_4 , ulvoespinélio- Fe_2TiO_4), ilmenita (FeTiO_3), hematita (Fe_2O_3) e rutilo (TiO_2) (Pranchas 1, 2, 3 e 4-Anexo 9). Alguns destes minerais sofreram substituições e são diferentes composicionalmente em relação aos originais. Apesar disso, existe a preservação de estruturas típicas de minerais como a magnetita, a ilmenita e a hematita.

Algumas cromitas apresentam feições de dissolução (Prancha 1-F, Prancha 2-C e E, Prancha 3-A, B e E, Prancha 4-C) indicando a liberação de cromo para as águas subterrâneas. Outras cromitas possuem bordas corroídas (Prancha 1-E, Prancha 2-F e Prancha 3-D), sugerindo que foram intemperizadas.

Na fração fina (minerais de 25 a 43-vide Anexo 8) não foi possível identificar os minerais. Estes são formados por uma mistura de fases silicáticas com óxidos de Ti, Cr e Fe. Esta mistura pode ser do próprio mineral ou devido ao desvio do feixe eletrônico do microscópio durante as análises. Este desvio pode ocorrer quando se trata de grãos muito pequenos, como é o caso destas amostras (<635 *mesh*).

Alguns minerais da fração fina apresentam importantes concentrações de Ni. Não foi encontrada uma fase deste elemento durante a análise por DRX. No entanto, seus teores foram detectados nesta fração através da análise química, sugerindo que o

elemento pode estar adsorvido na fração fina, composta por argilas e oxi-hidróxidos de ferro.

Alguns autores como DEER *et al.* (1966), RAMDOHR (1969), SUGUIO (1980) e DANA (1986) caracterizaram e descreveram os minerais pesados.

Os minerais do Grupo do Espinélio (AB_2O_4) compreendem um grupo isoestrutural intimamente relacionado, com solução sólida entre os membros. Há substituição quase completa dos elementos bivalentes, magnésio, ferro ferroso, zinco, manganês na posição A, mas somente substituição limitada dos elementos trivalentes, alumínio, ferro férrico e cromo nas posições B.

A cromita é um constituinte comum dos peridotitos e dos serpentinitos deles derivados. Encontra-se, por vezes, em areias detríticas de cursos de água, sob a forma de um mineral pesado. É formada por um complexo sistema de cristais mistos (Fe, Mg) (Cr, Al, Fe) $_2O_4$ com pequenas quantidades de Mn, Zn, Ti etc.

A magnetita ocorre em rochas ricas de minerais ferro-magnesianos, a saber, dioritos, gabros e peridotitos. Em rochas mais básicas a magnetita é consideravelmente titanífera. Nas rochas sedimentares a magnetita ocorre sob a forma de um mineral pesado detrítico e, em condições apropriadas, pode ser concentrada por cursos d'água superficiais.

O espinélio ocorre como um mineral acessório em muitas rochas ígneas escuras. Encontra-se o espinélio como seixos rolados nas areias dos rios, dada sua resistência física e propriedades químicas.

Tem sido reconhecido a ocorrência de ulvoespinélio sob a forma de exsoluções fusiformes no interior da magnetita e de outros minérios.

A ilmenita é considerada um mineral acessório em muitas rochas eruptivas e metamórficas. Ocorre em todos os sedimentos detríticos e pode formar concentrações em areias de praia.

A hematita encontra-se em solos e como produto de meteorização de minerais que contêm Fe.

O rutilo aparece disseminado sob a forma de grãos minúsculos em muitas rochas eruptivas. Ocorre com frequência sob a forma de inclusões em outros minerais, principalmente no quartzo, no qual pode apresentar a forma de agulhas. Encontram-se também intercrescimentos de rutilo com ilmenita. É um mineral detrítico frequente.

A cromita, a magnetita, o ulvoespinélio, a ilmenita e a hematita comumente apresentam altos pesos específicos devido ao seu elevado teor em ferro. A magnetita e

a ilmenita ocorrem frequentemente associadas a um mesmo sedimento e são mais estáveis sob condições oxidantes, podendo ser dissolvidas rapidamente em condições mais redutoras. A alteração da magnetita pode dar origem a hematita e a ilmenita alterada pode resultar em rutilo.

A maioria dos minerais pesados foram quantitativamente reduzidos ao passar para os sedimentos, em função da resistência física e estabilidade química de cada variedade e representam os acessórios das rochas metamórficas e ígneas. Embora algumas espécies desses minerais sejam destruídas durante o transporte e a diagênese, aqueles restantes são comumente os únicos indicadores da proveniência de alguns arenitos.

A paragénese dos minerais pesados determinados no MEV indica que estes são provenientes de rochas básicas (basaltos) a intermediárias (gabros) e, segundo COIMBRA (1976) podem ser originados de rochas básicas do Grupo São Bento.

f. Correlações entre composição química do solo, sedimento e mineralogia

De acordo com os resultados obtidos através das análises química (ICP-AES) e mineralógica (DRX, Microscopia Óptica e MEV) de amostras de solo e sedimento de Urânia, são sugeridas algumas correlações entre os parâmetros químicos analisados e a possível mineralogia:

SiO₂: quartzo (SiO₂) e grupo da caulinita;

Al₂O₃: grupo da caulinita, grupo do feldspato, illita [(K,H₃O) Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂], muscovita (KAl₂(AlSi₃O₁₀)(OH)₂), espinélio (MgAl₂O₄) e turmalina XY₃Al₆(BO₃)₃(Si₆O₁₈)(OH)₄, onde X = Na, Ca e Y = Al, Fe³⁺, Li, Mg;

Fe₂O₃: hematita (Fe₂O₃), magnetita (Fe₃O₄), ilmenita (FeTiO₃), goetita (FeO, OH-α) α 2,260-1,275, cromita (FeCr₂O₄) e ulvoespinélio (Fe₂TiO₄);

MgO: espinélio (MgAl₂O₄), magnesita (MgCO₃), dolomita (CaMg(CO₃)₂) e pode estar adsorvido pelos minerais do grupo da caulinita;

CaO: dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), gipso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), braunita ($\text{CaMn}_{14}\text{SiO}_{24}$), grupo do feldspato, epídoto, cimento carbonático e pode estar adsorvido pelos minerais do grupo da caulinita;

Na₂O: grupo do feldspato;

K₂O: grupo do feldspato, muscovita ($\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$) e pode estar adsorvido pelos minerais do grupo da caulinita;

MnO: braunita ($\text{CaMn}_{14}\text{SiO}_{24}$);

TiO₂: ilmenita (FeTiO_3), rutilo (TiO_2) e ulvoespínélio (Fe_2TiO_4);

Cr: cromita (FeCr_2O_4), zincocromita (ZnCr_2O_4), associado a alguns minerais, como hematita, magnetita, ilmenita, titano-magnetita, ulvoespínélio, espínélio e rutilo;

Zr: zircão $\text{Zr}(\text{SiO}_4)$;

Ba, Ni, Sr e V: adsorvidos pelas argilas e oxi-hidróxidos.

g. Extração Sequencial

A extração sequencial permitiu entender a retenção de cromo, ferro e manganês no solo coletado em Urânia. Esta análise abordou a adsorção em argilominerais, material orgânico, óxidos de ferro e manganês, materiais residuais e minerais silicáticos de difícil dissolução. As soluções utilizadas no início são mais específicas para atuar em partículas fracamente ligadas e as do final mais fortes e até destrutivas.

No Anexo 10 encontram-se os resultados da extração sequencial. A Tabela 10 resume a extração de manganês, ferro e cromo e a predominância destes metais nas diferentes fases.

Tabela 10: Extração de manganês, ferro e cromo e a predominância destes metais nas diferentes fases

Amostras	Elementos	Predominância de fases (% de extração)				
		5	4	3	2	1
PP-150-T (Basalto)	Mn	5 (81,44)	4 (13,35)	3 (4,18)	2 (0,90)	1 (0,12)
	Fe	5 (68,53)	4 (15,19)	3 (13,76)	2 (2,44)	1 (0,08)
	Cr	5 (84,73)	4 (8,88)	2 (3,40)	1 (2,23)	3 (0,76)
A1-T	Mn	5 (75,60)	4 (12,18)	3 (6,68)	2 (4,50)	1 (1,05)
	Fe	4 (68,79)	5 (24,59)	3 (5,29)	2 (0,68)	1 (0,66)
	Cr	4 (47,11)	5 (42,25)	3 (4,63)	2 (3,61)	1 (2,39)
A2-T	Mn	5 (71,25)	4 (15,21)	3 (6,76)	2 (5,06)	1 (1,72)
	Fe	4 (67,09)	5 (26,43)	3 (4,77)	2 (1,05)	1 (0,66)
	Cr	5 (49,33)	4 (43,60)	2 (2,74)	3 (2,28)	1 (2,05)
PC-1,0-T	Mn	5 (58,35)	3 (19,90)	2 (10,65)	4 (9,31)	1 (1,78)
	Fe	4 (65,22)	5 (28,51)	3 (4,76)	2 (1,08)	1 (0,43)
	Cr	5 (49,47)	4 (41,85)	2 (3,80)	3 (2,65)	1 (2,23)
PC-4,0-T	Mn	5 (85,02)	4 (13,02)	3 (1,39)	2 (0,46)	1 (0,10)
	Fe	4 (68,02)	5 (27,88)	3 (3,52)	2 (0,42)	1 (0,16)
	Cr	4 (49,58)	5 (43,98)	2 (2,74)	3 (1,96)	1 (1,75)
PC-6,0-T	Mn	5 (88,03)	4 (9,81)	3 (1,49)	2 (0,45)	1 (0,22)
	Fe	4 (61,04)	5 (34,18)	3 (4,04)	2 (0,40)	1 (0,33)
	Cr	5 (47,45)	4 (45,60)	3 (2,80)	2 (2,48)	1 (1,67)
PC-7,0-T	Mn	5 (80,89)	4 (16,25)	3 (1,94)	2 (0,54)	1 (0,38)
	Fe	4 (67,74)	5 (26,62)	3 (4,49)	1 (0,65)	2 (0,50)
	Cr	4 (68,69)	5 (25,55)	3 (2,70)	2 (1,68)	1 (1,37)
PC-7,2-T	Mn	5 (91,13)	4 (7,11)	2 (1,23)	1 (0,53)	3 (0,00)
	Fe	4 (83,88)	5 (8,30)	2 (2,82)	3 (2,58)	1 (2,42)
	Cr	4 (75,75)	5 (14,16)	2 (4,03)	1 (3,14)	3 (2,91)
PC-9,0-T	Mn	5 (67,65)	4 (22,48)	2 (7,41)	3 (1,56)	1 (0,30)
	Fe	4 (41,65)	5 (33,03)	2 (21,10)	3 (3,74)	1 (0,49)
	Cr	5 (49,83)	4 (27,79)	2 (18,14)	3 (2,45)	1 (1,80)
PC-9,5-T	Mn	5 (59,29)	4 (24,73)	2 (10,07)	3 (3,82)	1 (2,09)
	Fe	4 (42,07)	2 (26,74)	5 (22,89)	1 (4,26)	3 (4,04)
	Cr	2 (26,66)	1 (25,91)	4 (24,52)	5 (22,83)	3 (0,09)

1 = metais adsorvidos
2 = matéria orgânica
3 = óxidos de Fe e Mn

4 = materiais residuais
5 = minerais silicáticos de difícil dissolução

Na única amostra de basalto do Aquífero Serra Geral (PP-150-T), coletada durante a perfuração do poço tubular da Sabesp PP 09, a 150 m de profundidade e que apresentou 168 ppm de cromo, o manganês se comporta como o ferro. Estes elementos predominam nos minerais silicáticos de difícil dissolução, seguido pelos materiais residuais, óxidos de ferro e manganês, matéria orgânica e metais adsorvidos. A maior porcentagem de cromo está retida nos minerais silicáticos.

Nas amostras de solos da ZOC (A1-T e A2-T), coletadas até 2,5 m de profundidade, o manganês, ferro e cromo apresentam suas maiores porcentagens nos materiais residuais e silicáticos de difícil dissolução. A quantidade destes elementos adsorvidos na matéria orgânica é muito pequena em relação às outras fases.

As amostras que representam o perfil em profundidade do PC (PC-1,0-T, PC-4,0-T, PC-6,0-T, PC-7,0-T, PC-7,2-T, PC-9,0-T e PC-9,5-T), ilustradas na Figura 13, possuem maiores porcentagens de manganês nos minerais silicáticos de difícil dissolução, ferro nos materiais residuais e cromo variando nestas duas fases. A 7,0 m

de profundidade, onde foi detectado a maior concentração de cromo (594 ppm), a retenção deste elemento está associada aos materiais residuais. Até 7,2 m de profundidade é insignificante a retenção de cromo nos metais adsorvidos, matéria orgânica e óxidos de ferro e manganês.

É possível observar na Figura 13 que o cromo pode ser encontrado em três fases ao longo do perfil do PC:

- de 1,0 a 6,0 m as maiores concentrações de cromo estão retidas nos materiais residuais e minerais silicáticos de difícil dissolução;
- de 7,0 a 7,2 m os materiais residuais predominam sobre os minerais silicáticos;
- 9,0 a 9,5 m a distribuição de cromo é equitativa nas diferentes fases, sendo que a amostra de 9,5 m de profundidade representa as condições mais próximas da rocha original.

h. Síntese dos resultados da zona não-saturada

A análise macroscópica de amostras de solos coletadas na ZOC, até 2,5 m de profundidade, indicou que estas são constituídas de areia fina siltosa a muito argilosa, de cor marrom, variando as tonalidades de clara a escura e avermelhada. As amostras de solos e sedimentos retiradas durante a escavação do PC, até 11,5 m de profundidade, são representadas por areia fina siltosa de cor marrom escuro a claro, com níveis mais argilosos cinza claro e alguns grânulos lateríticos.

A análise granulométrica de amostras de solos da ZOC apontou a predominância de areia (53,77-77,37%) em relação a argila (18,41-46,23%) e cascalho (0,00-4,21%). A fração areia fina (33,75-36,81%) predomina sobre a areia muito fina (22,93-29,93%) e esta, sobre a areia média (3,47-10,44%). As amostras de solos e sedimentos do PC são compostas predominantemente por areia fina (43,92-64,53%), silte (7,47-41,42%), areia média (8,29-30,91%) e areia grossa (0,87-12,68%).

As concentrações anômalas de cromo na água deionizada que serviu para lavagem das amostras de solos, no peneiramento via úmida, indicam que, o cromo poderia estar solubilizado no espaço intergranular dos solos e/ou estaria ocorrendo a dissolução de minerais facilmente solubilizáveis, portadores deste elemento devido à percolação de água, embora não houvesse a detecção de tais minerais. Estes

Figura 13: Porcentagem de extração de manganês, ferro e cromo em cada uma das fases, em relação ao total obtido em todas as extrações.

resultados contradizem com os obtidos na extração sequencial, que mostra que pouco cromo está adsorvido na amostra. Os resultados da extração sequencial seguramente representam melhor o cromo adsorvido à fase sólida.

O ICP-AES detectou no material sólido amostrado na zona não-saturada de Urânia, teores de cromo variando de 174 a 309 ppm para os solos coletados até 2,5 m na ZOC e de 161 a 594 ppm para os solos e sedimentos que representam o perfil do PC, até 11,5 m de profundidade. O cromo resultou em correlações positivas com Fe_2O_3 , TiO_2 , V e Zr e correlação negativa com o Al_2O_3 .

A separação das amostras em diferentes frações apontou que o cromo predomina na fração grossa-afundado (1.475-7.704 ppm), ou seja, nos minerais pesados, seguida pela fração fina (301-598 ppm), correspondente a silte e argila e, por fim, na fração grossa-flutuado (30-81 ppm), representada por minerais leves.

A análise mineralógica de solo e sedimento possibilitou a identificação dos minerais através de diferentes técnicas: DRX (braunita, domita, gipso, goetita, hematita, ilita, ilmenita ilmenorutilo, magnesita, magnetita, minerais dos grupos da caulinita e feldspato, muscovita, quartzo, rutilo, zincocronita e zircão), Microscopia Óptica (epídoto, feldspato, goetita, hematita, ilmenita, magnetita, quartzo, rutilo, turmalina e zircão) e MEV, que permitiu definir os minerais pesados portadores de cromo (cromita, espinélio, hematita, ilmenita, magnetita, rutilo e ulvoespinélio). Esta última técnica possibilitou a visualização de cromitas com feições de dissolução e intemperismo.

A extração sequencial indicou que até 7,2 m de profundidade é insignificante a retenção de cromo nos metais adsorvidos, matéria orgânica e óxidos de ferro e manganês presentes nas amostras coletadas no PC. O cromo pode ser encontrado ao longo do perfil deste poço: de 1,0 a 6,0 m as maiores concentrações de cromo estão retidas nos materiais residuais e minerais silicáticos de difícil dissolução; de 7,0 a 7,2 m os materiais residuais predominam sobre os minerais silicáticos e de 9,0 a 9,5 m a distribuição de cromo é equitativa nas diferentes fases, sendo que a amostra de 9,5 m profundidade representa as condições mais próximas da rocha original.

A conclusão do exposto acima é que a Formação Adamantina na cidade de Urânia apresenta uma assembléia de minerais portadores de cromo, encabeçada pela cromita e secundariamente pelo espinélio, hematita, ilmenita, magnetita, rutilo e ulvoespinélio.

As feições de dissolução observadas em várias imagens obtidas através do MEV mostraram que processos de intemperismo podem dissolver os minerais portadores do cromo, transferindo-o à fase líquida do sistema.

A extração sequencial indica que o cromo encontra-se predominantemente nas últimas fases (residual e silicática), corroborando a provável origem do cromo estar associada aos minerais primários. A extração sequencial afasta também a hipótese da origem do cromo estar associada à adsorção de fluidos ricos neste elemento em fases sin e pós deposicionais do Bauru.

5.2.2. Enriquecimento da água por cromo na zona saturada

A pesquisa na zona saturada desenvolveu-se através do cadastro de poços tubulares e cacimbas de Urânia, definição do modelo conceitual de circulação das águas subterrâneas, amostragem e análises físico-químicas das águas destes poços.

a. Cadastro de poços tubulares e cacimbas

O cadastro de poços tubulares e cacimbas do perímetro urbano de Urânia encontra-se no Anexo 2 e a localização destes poços na Figura 14.

Os 8 PPs foram perfurados em profundidades de 75,0 até 270,0 m. O nível estático variou de 4,6 a 50,0 m, as vazões de 2,2 a 18,0 m³/h e vazões específicas de 0,09 a 0,44 m³/h/m. A perfuração dos poços PP 01, PP 02 e PP 03 atingiu somente os sedimentos da Formação Adamantina, chegando até 160,0 m, enquanto os poços PP 04, PP 05, PP 06, PP 08 e PP 09 foram perfurados até os basaltos da Formação Serra Geral, em profundidade de até 270,0 m. O PP 09 foi abandonado devido a sua baixa vazão (2,2 m³/h). A Sabesp tomou o cuidado de lacrar-lo convenientemente.

Os 16 PTs foram perfurados em profundidades variando de 40,0 a 180,0 m. As vazões medidas foram de 0,7 a 10,0 m³/h.

Os 28 PCs atingiram profundidades de 3,9 a 19,0 m. A água foi encontrada em profundidades variando de 2,8 a 16,4 m.

Figura 14: Poços cadastrados em Urânia.

PP: poço tubular da Sabesp; PT: poço tubular particular; PC: poço cacimba

A maioria dos PTs e PCs da cidade foi perfurada na década de 1990. Alguns moradores utilizavam as águas desses poços para consumo humano, sem que qualquer análise bacteriológica e físico-química tivesse sido executada. Com o desenvolver desta pesquisa e a partir dos resultados analíticos alguns habitantes preferiram consumir a água da Sabesp, devido ao seu melhor controle.

Os poços da Sabesp estão melhor protegidos dos riscos de contaminação antrópica devido à profundidade de captação e qualidade sanitária. Nem todos os PTs e PCs exibem laje de proteção, embora os PCs, na maioria das vezes, estejam bem tampados com laje de concreto.

b. Modelo Conceitual de Circulação das Águas Subterrâneas

Através do mapa geológico e dos perfis litológicos dos PTs, foram identificadas duas unidades hidroestratigráficas: o Aquífero Adamantina caracterizado na maior parte da área de pesquisa e, em menor escala, o Aquífero Serra Geral.

O aquífero sedimentar é do tipo livre, lateralmente homogêneo e isotrópico. A recarga ocorre em toda área de exposição dos sedimentos. No entanto, o perímetro urbano é considerado como de menor recarga por causa dos efeitos de impermeabilização provocados pela ocupação humana (casas, ruas asfaltadas). De acordo com informações da Sabesp de Urânia, as perdas de água na tubulação (vazamentos) são mínimas e não devem ser consideradas como recarga adicional. Os rios funcionam como áreas de descarga, ou seja, são corpos receptores de água do aquífero. A cidade de Urânia situa-se sobre um divisor de águas subterrâneas.

Os níveis d'água sofrem poucas variações entre os períodos seco e chuvoso. Portanto, o mapa potenciométrico também apresenta poucas alterações durante o ano hidrológico, que foram desconsideradas.

Com base nestas informações e na profundidade dos níveis d'água dos PCs foi definido o mapa potenciométrico (Figura 15). Este mapa define o modelo conceitual de circulação das águas subterrâneas em Urânia e indica que o fluxo de água ocorre em direção à parte nordeste da área. As linhas de fluxo convergem para calha do Córrego

Figura 15: Traçado das linhas isopotenciométricas da área de estudo.

Comprido, que consiste na descarga local. Através da utilização da Lei de Darcy foi determinada que a velocidade média da água subterrânea é da ordem de 7×10^{-2} a 3×10^{-3} m/dia.

c. Classificação das águas subterrâneas

As águas subterrâneas coletadas na área de pesquisa foram classificadas através do Diagrama de Piper (Anexo 11) em três zonas hidroquímicas diferentes, de acordo com a posição de amostragem dos poços (GUTIERREZ *et al.* 2000):

- Zona Profunda (ZP): representada basicamente pelos poços tubulares de maior profundidade (PPs), é a zona que representa as águas mais velhas do aquífero. Nas 21 amostras de água coletadas nestes poços predomina a família das bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, secundariamente a das bicarbonatadas sódicas e por último, com apenas dois dados a família das cloro-nitratadas cálcica ou magnesianas;
- Zona Intermediária (ZI): representada pelos poços tubulares medianamente profundos (PTs) e que coletam águas na zona entre a recarga e a descarga do aquífero. Em 23 amostras de água destes poços predominam as famílias das bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas com a maioria dos dados e a das cloro-nitratadas cálcicas ou magnesianas;
- Zona Rasa (ZR): representada pelos poços cacimbas ou rasos (PCs), é a zona de recarga do aquífero. Em 33 amostras de água analisadas predominam as famílias das cloro-nitratadas cálcicas ou magnesianas, com maior parte dos dados e das cloretadas sódicas, secundariamente.

Foi observada a evolução geoquímica das águas mais rasas para as mais profundas. Estas mudam de cloretadas sódicas para bicarbonatadas sódicas, passando por cloro-nitratadas cálcicas ou magnesianas e bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas (Figura 16).

d. Parâmetros físico-químicos analisados nas águas subterrâneas

Os resultados das análises físico-químicas das águas dos poços tubulares das três zonas hidroquímicas encontram-se no Anexo 12.

Figura 16: Perfil hidrodinâmico com classificação hidrogeoquímica para as três zonas do aquífero em Urânia (Gutierrez *et al.* 2000)

Os parâmetros Ag^+ , Al^{3+} , Ni^{2+} e Pb^{2+} não foram detectados nas águas subterrâneas de Urânia. Apenas na coleta de junho de 1998 encontrou-se Cd^{2+} acima do limite de potabilidade (0,005 mg/L) nos poços PP 01 (0,01 mg/L) e PP 06 (0,03 mg/L), não tendo sido detectado nas campanhas posteriores e nos outros poços. O Cu^{2+} aparece somente nos poços PP 01 (coleta de abril de 1997) e PC 09 (coleta de novembro de 1998) e seu valor está dentro do permitido pela legislação vigente.

Alguns íons como o Cr total, Cr^{6+} , NO_3^- -N e Fe total estão acima do valor máximo permitido para consumo humano. O Fe total é superior a 0,3 mg/L nas águas de alguns poços PPs e PTs. As concentrações mais elevadas de ferro podem ser decorrentes da oxidação dos tubos de ferro que revestem os poços. O NO_3^- -N ultrapassa o valor de 10 mg/L em grande parte dos PTs e PCs.

As águas dos PPs não apresentam concentrações anômalas de nitrato, porém os teores de cromo são elevados. Na maioria dos PTs e PCs não foram detectados teores de Cr total.

Os resultados indicam que o cromo está associado às águas mais profundas (ZP), enquanto o nitrato é encontrado nas águas mais rasas (ZR). O uso de fertilizantes, a existência de fossas sépticas e negras na cidade poderiam ser consideradas fontes de poluição de nitrato. Porém estudos mais detalhados vêm sendo desenvolvidos para definir sua origem.

Na Tabela 11 encontram-se as médias dos parâmetros físico-químicos medidos em campo durante as coletas de águas dos diferentes tipos de poços. Através desta tabela pode-se verificar o comportamento dos parâmetros físico-químicos medidos em campo em relação às diferentes zonas hidroquímicas:

- o pH, Cr^{6+} e HCO_3^- aumentam da zona hidroquímica rasa para a profunda ($\text{ZR} < \text{ZI} < \text{ZP}$);
- a temperatura das águas e o O_2 não sofrem variações significativas nas diferentes zonas hidroquímicas;
- o Eh e a condutividade elétrica (C.E.) diminuem da zona hidroquímica rasa para a profunda ($\text{ZR} > \text{ZI} > \text{ZP}$).

A Tabela 12 apresenta os valores médios dos parâmetros químicos analisados no Laboratório do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas do IGc-USP (Cepas/IGc-USP). Com estes valores pode-se concluir que:

Tabela 11: Média dos parâmetros físico-químicos medidos em campo nas águas dos diferentes tipos de poços de Urânia

Parâmetros	ZP (71 amostras)	ZI (40 amostras)	ZR (56 amostras)
Temperatura do ar (°C)	27,02	26,27	28,61
Temperatura da água (°C)	25,49	24,74	25,48
pH	8,31	6,57	5,78
EH (mV)	467,76	496,83	519,25
O ₂ (mg/L)	3,79	4,11	3,28
Condutividade elétrica (μS/Cm)	190,63	215,05	273,97
CO ₃ ²⁻ (mg/L)	13,00	0,00	0,00
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	102,22	92,52	22,95
Cr ⁶⁺ (mg/L)	0,02	0,01	0,00

CO₃²⁻ foram consideradas 15 amostras para a ZP

HCO₃⁻ foram consideradas 30 amostras para a ZI e 42 amostras para ZR

Coletas de junho e novembro de 1998, março e junho de 1999

- as concentrações de Cr total, Fe total, Sr²⁺ e Zn²⁺ aumentam da zona hidroquímica rasa para a profunda (ZR<ZI<ZP), evidenciando que o tempo de trânsito da água pode estar contribuindo com a concentração destes íons;
- as concentrações de Cl⁻, K⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, NO₃⁻-N e SO₄²⁻ diminuem da zona hidroquímica rasa para a profunda (ZR>ZI>ZP). Estes resultados evidenciam poluição por fossas e/ou fertilizantes da zona hidroquímica rasa, representada pelos PCs.

As análises de águas que apresentaram erro analítico menor do que 10% podem ser vistos no Anexo 6. A relação de Pearson indica que os parâmetros são diretamente proporcionais quando o resultado é próximo do valor +1 e inversamente proporcionais no caso do valor estar próximo a -1.

Foram determinadas as seguintes correlações para os parâmetros analisados nas águas dos poços da ZP, ZI e ZR (Tabela 13).

Tabela 12: Médias dos parâmetros químicos analisados nas águas dos diferentes tipos de poços de Urânia

Parâmetros (mg/L)	ZP (60 amostras)	ZI (23 amostras)	ZR (33 amostras)
Ba ²⁺	0,40	0,23	0,31
Br ⁻	0,01	0,01	0,01
Ca ²⁺	19,30	22,20	18,00
Cl ⁻	3,35	8,31	22,00
Cr total	0,03	0,02	0,01
Fe total	0,16	0,02	0,02
F ⁻	0,12	0,12	0,08
K ⁺	3,73	4,02	5,85
Mg ²⁺	5,69	7,65	6,54
Mn ²⁺	0,04	0,01	0,06
Na ⁺	10,40	5,70	17,10
NO ₂ ⁻	0,00	0,02	0,03
NO ₃ ⁻	18,80	40,40	80,70
NO ₃ ⁻ -N	4,20	9,13	18,20
PO ₄ ³⁻	0,16	0,17	0,09
SO ₄ ²⁻	0,22	0,36	0,80
Sr ²⁺	0,27	0,17	0,17
Zn ²⁺	0,15	0,03	0,02

Coletas de junho e novembro de 1998, março e junho de 1999. As coletas de maio de 1999 foram efetuadas apenas para os poços PPs, ou seja, da ZP

Tabela 13: Correlações entre os parâmetros físico- químicos analisados nas águas subterrâneas

Correlações positivas			Correlações negativas	
ZP	ZI	ZR	ZP	ZI
•Ba ²⁺ com Sr ²⁺	•Ba ²⁺ com K ⁺	•Ba ²⁺ com Mg ²⁺ , NO ₃ ⁻ , C.E.	•Br ⁻ com Mg ²⁺ , PO ₄ ³⁻	•Cl ⁻ com pH
•Ca ²⁺ com Mg ²⁺ , Sr ²⁺ , C.E., HCO ₃ ⁻	•Ca ²⁺ com Mg ²⁺ , Sr ²⁺ , C.E., HCO ₃ ⁻	•Ca ²⁺ com Mg ²⁺ , NO ₃ ⁻ , Sr ²⁺ , C.E.	•Ca ²⁺ com F ⁻	•Cr ⁶⁺ com NO ₃ ⁻
•Cl ⁻ com NO ₃ ⁻	•Cl ⁻ com Na ⁺ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻	•Cl ⁻ com Na ⁺ , NO ₃ ⁻ , C.E.	•Cl ⁻ com Na ⁺ , pH	•Na ⁺ com pH, HCO ₃ ⁻
•Mg ²⁺ com Sr ²⁺ , C.E.	•Mg ²⁺ com Sr ²⁺ , C.E., HCO ₃ ⁻	•Mg ²⁺ com NO ₃ ⁻ , C.E.	•F ⁻ com C.E., HCO ₃ ⁻	•SO ₄ ²⁻ com pH
•Na ⁺ com pH	•Na ⁺ com SO ₄ ²⁻	•Na ⁺ com C.E.	•Mg ²⁺ com Na ⁺	
•Sr ²⁺ com C.E., HCO ₃ ⁻	•Sr ²⁺ com C.E., HCO ₃ ⁻	•NO ₃ ⁻ com C.E.	•Na ⁺ com Eh	
•C.E. com HCO ₃ ⁻	•pH com HCO ₃ ⁻	•pH com HCO ₃ ⁻		

C.E.: condutividade elétrica

As correlações positivas de Ba²⁺ com Sr²⁺, Ca²⁺ com Sr²⁺, Mg²⁺ com Sr²⁺, Ba²⁺ com K⁺ e Ba²⁺ com Mg²⁺ encontradas nas águas subterrâneas, também foram

observadas nas amostras de solo. A correlação negativa entre o Cr^{6+} e o NO_3^- na ZI é coerente, uma vez que nesta zona, as concentrações de nitrato são elevadas (valor médio de 34,49 mg/L) e as de cromo são relativamente baixas (valor médio de 0,01 mg/L).

e. Distribuição do cromo nas águas subterrâneas em relação ao tempo e espaço

Os resultados das análises de cromo total e hexavalente das águas dos PPs encontram-se no Anexo 12. Estes parâmetros foram detectados desde a década de 1970. As análises que datam de 1977 a 1993 foram fornecidas pela Sabesp e as de 1994 a 1995 estão em ALMODOVAR (1995). As análises de abril de 1997, junho e novembro de 1998, março, maio e junho de 1999 foram executadas no laboratório do Cepas/IGc-USP.

As Figuras 17, 18 e 19 ilustram o comportamento do cromo total em relação ao período de amostragem. Na coleta de 19-06-1998, os poços PP01, PP05, PP06 e PP08 já estavam desativados e os teores de cromo total estiveram abaixo do limite de detecção do equipamento ($<0,02$ mg/L). Porém, os poços ativados (PP02, PP03 e PP04) apresentaram teores deste elemento variando de 0,02 a 0,09 mg/L.

Estes resultados indicam que as variações nos teores de cromo podem estar relacionadas com os tubos de fluxo aduzidos ao poço coletado. Para confirmação, foi executada a amostragem de água a diferentes tempos de bombeamento que permitiria acompanhar a evolução do íon em diferentes níveis do aquífero, com diferentes idades da água (Ítem g).

É conveniente ressaltar que os PPs foram desativados por apresentarem teores impróprios de cromo nas águas utilizadas para consumo humano ($> 0,05$ mg/L), constatados ao longo do tempo.

As coletas de abril de 1997, junho e novembro de 1998, março, maio e junho de 1999 mostraram que as maiores concentrações de cromo total foram detectadas nos poços tubulares da Sabesp (PP-0,12 mg/L), seguida pelos poços tubulares particulares (PT-0,04 mg/L) e cacimbas (PC-0,02 mg/L). Os PPs representam a zona inferior do

Figura 17: Variação dos teores de cromo total em relação ao período de amostragem de águas dos poços tubulares da Sabesp (PP 01, PP 02 e PP 03).

Figura 18: Variação dos teores de cromo total em relação ao período de amostragem de águas dos poços tubulares da Sabesp (PP 04 e PP 05).

Figura 19: Variação dos teores de cromo total em relação ao período de amostragem de águas dos poços tubulares da Sabesp (PP 06 e PP 08).

aquífero (ZP), os PTs a zona intermediária (ZI) e os PCs a zona superior (ZR). Na Figura 20 encontra-se a distribuição dos maiores teores de cromo total nos diferentes tipos de poços de Urânia. A Figura 21 representa as concentrações de cromo ao longo do perfil do Aquífero Adamantina na área de estudo.

A distribuição da concentração do cromo em diferentes zonas hidroquímicas e diferentes situações hidráulicas mostra claramente que os maiores teores de cromo são provenientes de tubos de fluxo mais profundos, onde as águas são mais antigas e o ambiente hidroquímico permite a passagem deste elemento para o meio líquido.

f. Amostragem de águas a diferentes profundidades

Procedeu-se as coletas de águas subterrâneas a diferentes profundidades nos poços PP 06 e PP 08 (Figuras 22, 23, 24 e 25).

Porém, não foi possível correlacionar as águas mais rasas e mais profundas, pois estas são semelhantes. A ausência de tal correlação pode ser decorrente de fluxos verticais que atuam dentro desses poços, que estão localizados em área de recarga, induzindo fluxos descendentes de água dentro dos mesmos.

g. Amostragem de águas a diferentes tempos de bombeamento

As amostras de água coletadas em tempos de bombeamento preestabelecidos foram realizadas para verificar a existência de variações nas concentrações de cromo. Sabe-se que o bombeamento continuado do poço permite capturar tubos de fluxo do aquífero mais profundo e portanto de águas mais velhas, com maior tempo de contato água-rocha.

Através do modelo de circulação das águas subterrâneas, é possível visualizar que os poços, onde as águas foram amostradas em diferentes tempos de bombeamento, localizam-se na área de recarga (PP 02) e descarga do aquífero (PP 04 e PP 05). O poço PP 05 não possui equipamento de bombeamento e sua coleta se fez pelo jorro natural da água do poço.

Figura 20: Distribuição das maiores concentrações de cromo total em mg/L, nas águas dos poços PP (profundos da Sabesp), PT (tubulares particulares) e PC (cacimbas) no período de junho de 1998 a junho de 1999.

Figura 21: Evolução das concentrações de Cr ao longo do perfil esquemático do Aquífero Adamantina em Urânia.

Figura 22: Variação dos parâmetros físico-químicos analisados nas águas do poço tubular da Sabesp (PP 06) em relação à profundidade de amostragem. A coleta (maio de 1999) foi realizada 24 horas após a limpeza do poço (A). Eh (mV); C.E.: condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e HCO_3^- (mg/L)

Figura 23: Variação dos parâmetros físico-químicos analisados nas águas do poço tubular da Sabesp (PP 06) em relação à profundidade de amostragem. A coleta (maio de 1999) foi realizada 48 horas após a limpeza do poço (B). Eh (mV); C.E.: condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e HCO_3^- (mg/L)

Figura 24: Variação dos parâmetros físico-químicos analisados nas águas do poço tubular da Sabesp (PP 08) em relação à profundidade de amostragem. A coleta (maio de 1999) foi realizada 24 horas após a limpeza do poço (A). Eh (mV); C.E.: condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e HCO_3^- (mg/L)

Figura 25: Variação dos parâmetros físico-químicos analisados nas águas do poço tubular da Sabesp (PP 08) em relação à profundidade de amostragem. A coleta (maio de 1999) foi realizada 48 horas após a limpeza do poço (B). Eh (mV); C.E.: condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e HCO_3^- (mg/L)

A partir dos resultados da amostragem de água nos três poços (Figuras 26, 27 e 28) é possível concluir que:

- as concentrações de cromo nas águas do PP 02 sobem gradativamente com o aumento do tempo de bombeamento, enquanto que no PP 04 e PP 05 os teores sobem abruptamente após uma hora de bombeamento. É possível que nestes dois últimos poços, a água coletada seja proveniente de um outro tubo de fluxo;
- além do cromo total e hexavalente, houve um aumento das concentrações de sódio e do pH com o tempo de bombeamento. O aumento do sódio pode ser devido ao fato deste elemento não participar de importantes reações de precipitação e no caso de trocas catiônicas, esta tende a extrair da solução cátions bivalentes e substituí-los por cátions monovalentes como o sódio;
- os valores de cloreto e nitrato tendem a diminuir com o aumento do tempo de bombeamento nos poços PP 02 e PP 04. A queda dos teores deve estar relacionada com a contaminação apenas superficial do aquífero;
- as concentrações de potássio, magnésio, zinco, bário, estrôncio, cálcio, hidrogeno-carbonato e condutividade elétrica sofreram uma certa diminuição com o aumento do tempo de bombeamento.

h. Correlação água-rocha

Os resultados obtidos através da utilização do modelo numérico de equilíbrio químico MINTEQA2 (Versão 4.0) encontram-se no Anexo 13. Este modelo permitiu definir as possíveis relações hidroquímicas existentes no sistema rocha-água subterrânea para as condições originais das amostras e as três simulações consideradas (mudanças de temperatura, pH e pe).

O índice de saturação é um parâmetro que mede o desequilíbrio existente entre a solução e os minerais da rocha. Para isto, utiliza-se da relação entre o produto das atividades dos íons formadores de um mineral com a sua constante de equilíbrio químico. Valores de índice de saturação positivos indicam que a solução está supersaturada com relação a determinado mineral, o que leva à precipitação. Valores negativos sinalizam que o mineral encontra-se em processo de dissolução e valores próximos de zero indicam que a solução está em equilíbrio químico com o mineral

Figura 26: Variação dos parâmetros físico-químicos analisados nas águas do poço tubular da Sabesp (PP 02) em relação ao tempo de bombeamento (coleta de maio de 1999).

Eh (mV); C.E.: condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e HCO_3^- (mg/L)

Figura 27: Variação dos parâmetros físico-químicos analisados nas águas do poço tubular da Sabesp (PP 04) em relação ao tempo de bombeamento (coleta de maio de 1999).

Eh (mV); C.E.: condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e HCO_3^- (mg/L)

Figura 28: Variação dos parâmetros físico-químicos analisados nas águas do poço tubular da Sabesp (PP 05) em relação ao tempo de bombeamento (coleta de maio de 1999).

Eh (mV); C.E.: condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e HCO_3^- (mg/L)

(FREEZE & CHERRY, 1979). O índice de saturação fornece uma indicação sobre o sentido da reação, porém não considera sua velocidade. É possível concluir que para a maior parte dos minerais pouco reativos, a solução pode permanecer constantemente em desequilíbrio sem que haja precipitação ou dissolução pronunciadas do mineral.

Para as condições originais de pH e Eh das amostras o índice de saturação é negativo, indicando que ocorre dissolução de cromo da fase sólida do aquífero. Isto acontece para todas as espécies de cromo das amostras de água do PP 04 (ZP) e PC 07 (ZR).

As espécies de cromo presentes na água do PT 16 (ZI) apresentam a maioria dos índices de saturação negativos e alguns positivos. Porém, estes valores positivos são próximos de zero, ou seja, da situação de equilíbrio químico das fases sólida e líquida.

É possível concluir que, nas condições originais das amostras, as espécies de minerais cromíferos presentes no aquífero sempre têm índice de saturação negativo, oferecendo condições para a dissolução destas espécies. Este fato é comprovado pelas feições de dissolução das cromitas detectadas através do MEV.

Esta situação ainda explica as elevadas concentrações de cromo nos poços tubulares (profundos) em relação aos cacimbas (rasos). A água do aquífero profundo possui um tempo de contato água-rocha maior, oferecendo melhores condições para atingir-se o equilíbrio químico entre os minerais e a solução percolante e permitindo a passagem deste elemento para o meio líquido.

O exercício de simulação através da mudança da temperatura da amostra de água do PP 04 (de 26,4° C para 6,4° C) indicou que diminuindo a temperatura, o índice de saturação adquire um valor maior e com isso, diminui a solubilidade dos minerais portadores de cromo.

Com a variação dos valores de pH (de 4 a 10) foi possível observar nas amostras de água dos três tipos de poços (PP 04, PT 16 e PC 07) que em $\text{pH} < 5,5$ e $\text{pH} > 7,0$ a solução percolante está mais insaturada em relação aos minerais de cromo. Esta observação é concordante com a amostragem de água a diferentes tempos de bombeamento, onde verificou-se que aumentando o pH, as concentrações de cromo se elevam.

Na faixa de pH entre 5,5 e 7,0 ocorrem valores mais próximos de zero, ou seja, do equilíbrio químico.

Estes resultados indicam que mesmo variando o pH da amostra, a cromita na área de pesquisa está sempre em processo de dissolução, entretanto, em situações de águas mais alcalinas, como observadas em Urânia (até pH 9,16), há maior disponibilidade potencial de cromo nas águas.

Com a variação dos valores de pe (de -10 a +15) verificou-se nas amostras de água dos três tipos de poços que aumentando o pe, diminui-se o índice de saturação para as espécies de Cr^{3+} e aumenta-se o índice de saturação para as espécies de Cr^{6+} . Estes resultados concordam com o diagrama de especiação do cromo em relação ao pH e Eh (Figura 1).

Na faixa de pe entre -15 e +5 há condição de precipitação de algumas espécies de Cr^{3+} , incluindo a cromita. Porém, na área de estudo o pe encontra-se acima de +5.

i. Síntese dos resultados da zona saturada

No município de Urânia ocorrem os aquífero Adamantina e Serra Geral. A recarga do Aquífero Adamantina, o único atualmente explorado na cidade, ocorre em toda área de exposição dos sedimentos e o Córrego Comprido funciona como área de descarga. O modelo conceitual de circulação das águas subterrâneas indica que o fluxo da água ocorre em direção à parte nordeste da área. A velocidade média da água subterrânea é da ordem de 7×10^{-2} a 3×10^{-3} m/dia.

As águas subterrâneas coletadas na área de pesquisa foram classificadas em três zonas hidroquímicas diferentes, de acordo com a profundidade dos poços amostrados. Na zona superior do aquífero (Zona Rasa-ZR), representada por PCs, predominam as águas cloro-nitratadas cálcicas ou magnesianas. Na zona intermediária do aquífero (Zona Intermediária-ZI), onde estão os PTs (profundidade média de 80 m), encontram-se águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas. Na zona inferior do aquífero (Zona Profunda-ZP), atingida pelos PPs (profundidade média de 140 m), tem-se água bicarbonatada sódica.

A amostragem de água a diferentes tempos de bombeamento definiu que os maiores teores de cromo são provenientes de tubos de fluxo mais profundos, onde as águas são mais antigas e o ambiente hidroquímico permite a passagem deste íon para a fase líquida do aquífero.

É possível concluir através do modelo de equilíbrio químico MINTEQA2 (Versão 4.0) que, nas condições originais das amostras, as possíveis espécies de minerais

cromíferos presentes no aquífero sempre têm índice de saturação negativo, oferecendo condições para a dissolução destas espécies. Este fato é comprovado com as feições de dissolução das cromitas detectadas através do MEV.

O MINTEQ A2 (Versão 4.0) também permitiu observar nas amostras de água dos três tipos de poços (PP 04, PT 16 e PC 07) que em $\text{pH} < 5,5$ e $\text{pH} > 7,0$ a solução percolante está mais insaturada em relação aos minerais de cromo. Esta observação é concordante com a amostragem de água a diferentes tempos de bombeamento, onde verificou-se que aumentando-se o pH, as concentrações de cromo se elevam. Na faixa de pH entre 5,5 e 7,0 ocorrem valores mais próximos de zero, ou seja, do equilíbrio químico. Estes resultados indicam que mesmo variando o pH da amostra, a cromita na área de pesquisa está sempre em processo de dissolução.

Aumentando-se os valores de pe no MINTEQ A2 (Versão 4.0), diminui-se o índice de saturação para as espécies de Cr^{3+} e aumenta-se o índice de saturação para as espécies de Cr^{6+} . Na faixa de pe entre -15 a +5 há condição de precipitação de algumas espécies de Cr^{3+} , incluindo a cromita. Porém, na área de estudo o pe encontra-se acima de +5.

6. CONCLUSÕES

A origem do cromo nas águas subterrâneas de Urânia é natural, proveniente da dissolução de minerais cromíferos presentes nos solos e sedimentos da Formação Adamantina.

Esta hipótese foi confirmada através das seguintes comprovações:

- o levantamento de fontes antrópicas potenciais de cromo nas águas subterrâneas do município de Urânia apontou a inexistência de indústrias, curtumes, minerações ou outras fontes potenciais de cromo, mesmo no passado. Os lodos de curtumes, que têm sido utilizados em regiões agrícolas como adubos, também não foram depositados na área. Houve a confirmação de que na ZOC, onde foi escavado o PC e coletadas as amostras de solos e sedimentos, nenhum tipo de defensivo agrícola e fertilizante foi aplicado. Além do mais, apesar de alguns fertilizantes disponíveis no mercado apresentarem teores de cromo, seu uso em Urânia iniciou-se na década de 1980 e os teores de cromo nas águas subterrâneas já haviam sido detectados desde a década anterior;
- a maior contribuição de cromo para as águas subterrâneas é devido a dissolução de minerais pesados presentes nos solos e sedimentos, constituídos de areia fina siltosa, do Aquífero Adamantina. A maior parte destes minerais pesados está associada à fração grossa ($> 635\text{ mesh}$), na qual foram detectados teores deste elemento variando de 1.475 a 7.704 ppm;
- os principais minerais responsáveis pelas concentrações anômalas de cromo nas águas subterrâneas são: cromita, espinélio, hematita, ilmenita, magnetita, rutilo e ulvoespinélio;
- a extração sequencial comprovou que o cromo é proveniente de minerais primários, sendo que nos solos da área de pesquisa está associado aos materiais residuais e minerais silicáticos, apresentando apenas uma quantidade insignificante nos metais adsorvidos, matéria orgânica e óxidos de ferro e manganês;
- na maioria das águas coletadas nos poços cacimbas (rasos) não foram detectados teores de cromo total. As maiores concentrações deste elemento foram encontradas em poços tubulares de maior profundidade. Isto corrobora a origem natural do cromo, pois se fosse antrópica, se esperariam concentrações maiores nos poços rasos;

- os teores de cromo aumentam significativamente com o tempo de bombeamento de água nos poços mais profundos. Estes dados evidenciam que nos níveis mais profundos, onde o tempo de residência da água é maior, estaria ocorrendo o enriquecimento por cromo;
- o modelo de equilíbrio químico utilizado-MINTEQA2 (Versão 4.0) mostrou que os ambientes hidroquímicos da área de estudo são propícios para a dissolução de minerais portadores de cromo. Este fato é comprovado pelas feições de dissolução das cromitas detectadas através do MEV. Simulando variações de pH (de 4 a 10) nas amostras de água do aquífero é possível verificar a dependência deste parâmetro na dissolução de minerais cromíferos. Embora nas condições de Urânia, em qualquer pH, as águas sempre se mostraram não-saturadas para o cromo, a maior concentração deste elemento é esperada em ambientes de pH mais elevado. Algumas áreas da cidade apresentam pH até 9,16. A mesma simulação foi feita alterando-se as condições de oxi-redução. O modelo indica que para ambientes onde o pe é superior a +5, como observado em Urânia, não há condições de supersaturação de cromita;
- embora o cromo seja um elemento abundante na crosta terrestre, o número de casos de poluição natural por este metal nas águas subterrâneas é bastante restrito. Como em Urânia este elemento ocorre de forma natural e está associado à dissolução de rochas da Formação Adamantina e ao ambiente hidroquímico, com predominância do ambiente alcalino, é de se supor que a anomalia de cromo observada em outras cidades da região noroeste do Estado de São Paulo tenham a mesma origem;
- e, finalmente, pode-se questionar o por que da ocorrência da anomalia de cromo nas águas subterrâneas do noroeste paulista e não em outras áreas. O estudo em Urânia indicou algumas condições hidrogeoquímicas que explicam as concentrações anômalas deste elemento nas águas: a) a presença de minerais cromíferos; b) as condições hidroquímicas de dissolução, principalmente altos valores de pH e pe das águas; c) a baixa capacidade de adsorção de cromo na fase sólida, permitindo que o íon se mantenha na fase líquida.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIANO, D. C. (1986). Introduction. In:____. **Trace elements in the Terrestrial Environment**. New York, Spring-Velag. p. 1-72.
- ALLISON, J. D.; BROWN, D. S.; NOVO-GRADAC, K. J. (1991). **MINTEQA2/PRODEF A2**, A Geochemical Assessment Model for Environmental Systems. Version 3.0. User's Manual. EPA/600/3-91/021. Georgia. 107 p.
- ALLOWAY, B. J. (1995). The origins of heavy metals in soils. In:____. **Heavy metals in soils**. Glasgow, Blackie. p. 38-57.
- ALMODOVAR, M. L. N. (1995). **Estudo da anomalia de cromo nas águas subterrâneas da região noroeste do Estado de São Paulo**. São Paulo, 101 p. (Dissertação - Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- ALMODOVAR , M. L. N. ; PACHECO, A. (1995). Anomalia de cromo nas águas subterrâneas de Urânia no noroeste do Estado de São Paulo. **Boletim IG-USP. Série Científica**, v. 26, p. 1-12.
- AMARAL, R. (1985). Importância dos elementos essenciais em águas para consumo humano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 13., Maceió, 1985. **Anais**. São Paulo, CETESB/ABES. 14 p.
- ANDREI, E. (coord.) (1993). **Compêndio de defensivos agrícolas: guia prático de produtos fitossanitários para uso agrícola**. 4 ed. São Paulo. Organização Andrei. 448 p.
- ARMIENTA, M. A.; QUÉRÉ, A. (1995). Hidrogeochemical behavior of chromium in the unsaturated zone and in the aquifer of Leon Valley Mexico. **Water, Air and Pollution**. v.84, p. 11-29.
- ASIKAINEN, J. M.; NIKOLAIDIS, N. P. (1994). Sequential Extraction of Chromium from Contaminated Aquifer Sediments. **Ground Water Monitoring Remediation**. Spring. v. 14, n. 2, p. 185-191.

- BARCELOS, J. H.; SOUZA, F.⁰, E. E. de, FÚLFARO, V. J.; LANDIM, P. M. B.; COTTAS, L. R.; WU, F.T.; GODOY, H. M. (1983). A Formação Itaqueri, um exemplo de tectofácies. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 4., São Paulo, 1983. **Atas**. São Paulo, SBG /USP. v.1, p. 245-261.
- BARCHA, S. F.(1980). **Aspectos geológicos e províncias hidrogeológicas da Formação Bauru na região norte-ocidental do Estado de São Paulo, São José do Rio Preto**. São José do Rio Preto, 209 p. (Tese de Livre Docência) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- BARTLETT, R. J.; KIMBLE, J. M. (1976a). Behavior of chromium in soils: I. Trivalent forms. **Journal of Environmental Quality. American Society of Agronomy**, v.5, p. 379-382.
- BARTLETT, R. J.; KIMBLE, J. M. (1976b). Behavior of chromium in soils: II. Hexavalent forms. **Journal of Environmental Quality. American Society of Agronomy**, v.5, p. 383-386.
- BARTLETT, R. J.; JAMES, B. (1979). Behavior of chromium in soils: III. Oxidation. **Journal of Environmental Quality. American Society of Agronomy**, v.8, p. 31-35.
- BERTOLO, R. A. (2000). **Estudo de detalhe da hidrodinâmica e da hidrogeoquímica da zona não saturada do Aquífero Adamantina**. São Paulo, 105 p. (Exame de Qualificação de Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- BERTOLO, R. A.; HIRATA, R. C. A. (2000). Monitoramento da zona não-saturada: um estudo da hidráulica e hidroquímica na estação experimental de Urânia, São Paulo, Brasil. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1, Fortaleza, 2000. **Anais**. (no prelo).
- BRANDT NETO, M. (1977). **Estratigrafia da Formação Bauru na Região do Baixo Tietê**. São Paulo, 74 p. (Dissertação de Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

- BRANDT NETO, M. (1984). **O Grupo Bauru na Região Centro-Norte do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2v. (Tese de Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- BRANDT NETO, M.; PETRI, S.; COIMBRA, A. M. (1985). Argilominerais do Grupo Bauru: considerações genéticas. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 5., São Paulo, 1985. **Atas**. São Paulo, SBG- Núcleo de São Paulo. v.1, p. 61-74.
- BRANDT NETO, M.; BARELLI, N.; BARÇA, S. F.; COIMBRA, A. M. (1987). Ocorrência de analcima em sedimentos da Formação Adamantina em Macedônia (Estado de São Paulo), uma evidência de hidrotermalismo no Grupo Bauru. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 6., Rio Claro, 1987, SBG-. v.1, 113-117.
- BRASIL. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1978). **Poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo: estudo preliminar**. São Paulo, CETESB. 88 p.
- BRASIL COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. (1994). **Compilação de Padrões Ambientais**. São Paulo, CETESB. 7 p.
- BRASIL. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1997). **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo, CETESB. 106 p.
- BRASIL. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (1976). **Estudo de Águas Subterrâneas: Regiões Administrativas 7, 8 e 9**. São Paulo, DAEE. 4v.
- BRASIL DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (1988). Água subterrânea reserva estratégica. **Águas e Energia Elétrica**, v.5, n.13, p. 14-23.
- BUHRKE, V. E.; JENKINS, R.; SMITH, D. K. (1998). **Preparation of specimens for X-Ray-Fluorescence and X-Ray Diffraction Analysis**. New York, John Wiley & Sons. 332 p.

- CALDER, L. M. (1988). Chromium in Groundwater. In: NRIAGU, J.; NIEBOER, E. **Chromium in the natural and human environments**-advances in environmental science and technology. Ontario, John Wiley & Sons. 31 p.
- CAMPOS, H. C. N. S. (1987). **Contribuição do estudo hidrogeoquímico do Grupo Bauru no Estado de São Paulo**. São Paulo, 158 p. (Dissertação de Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- CAMPOS, H. C. N. S. (1993). **Caracterização e cartografia das províncias hidrogeoquímicas do Estado de São Paulo**. São Paulo, 177 p. (Tese de Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- CARRY, E. E.; ALLAWAY, W. H.; OLSON, O. E. (1977). Control of the chromium concentrations in food plants. 2. Chemistry of chromium in soils and its availability to plants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 25. p. 305-309.
- CEM Corporation (1994). Microwave sample preparation system. **Applications Manual**. 300 p.
- COIMBRA, A. M. (1976). **Arenitos da Formação Bauru**: estudo de áreas-fonte. São Paulo, 2v. (Dissertação de Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- CRUZ, P. T.; FERREIRA, R.C. (1993). Aterros compactados. In____. **Solos do interior de São Paulo**. São Paulo, ABMS. p. 277-313.
- DANA, J. D. (1986). **Manual de Mineralogia**. Rio de Janeiro, LTC. 642 p.
- DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. (1966). Grupo das espinelas. In____. **Minerais constituintes das rochas-uma introdução**. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian. p.445-454.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM (1990). Mapa Rodoviário do Estado de São Paulo. São Paulo. DERSA/FEPASA/DAESP. Escala 1:250.000.

- DEUTSCH, W. J. (1997). Practical applications: metals contamination. In: **Groundwater Geochemistry** - fundamentals and applications to contamination. New York, Lewis Publishers. p. 165-181.
- DURFOR, C.N. ; BECKER, E. (1964). Public water supplies of the 100 largest cities in the United States, 1962. **U. S. Geological Survey Water Supply Paper**, v. 1812, p. 1-364.
- EARY, L. E.; RAI, D. (1989). Kinetics of chromate reduction by ferrous ions derived from hematite and biotite at 25⁰ C. **American Journal of Science**, v. 289, n.2, p. 180-215.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA; INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (1999). **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**. Folha 1-noroeste. EMBRAPA/IAC. Escala: 1:500.000.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OF USA (1998). Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. (**Método EPA 3051**). 24 p.
- FARJALLAT, J. E. S. (1974). Comportamento da permeabilidade ao ar de alguns basaltos do sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre, 1974. **Resumo das Comunicações**. Porto Alegre, SBG. **Boletim** 1. p. 69-70.
- FENDORF, S. E.; SPARKS, D. L.; FENDORF, M. (1994). Mechanism of aluminum sorption on birnessite: influences on chromium (III) oxidation. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 15, Acapulco, México, 1994. **Proceedings**. México, v. 3A, p. 129-144.
- FERNANDES, L. A. (1998). **Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)**. São Paulo, 216 p. (Tese de Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. (1979). **Groundwater**. Englewood Cliffs, Prentice-Hall. 604 p.

- FREITAS, R. O. de (1964). Grupo Bauru (Estado de São Paulo). **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**. São Paulo, v. 41. p. 126-147.
- FÚLFARO, V. J.; BARCELOS, J. H. (1991). Fase rift na Bacia do Paraná: a Formação Caiuá. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 3., Rio Claro, 1991. **Boletim de resumos expandidos**. Rio Claro, SBG- p. 85-87.
- FÚLFARO, V. J.; BJORNBERG, A. J. S. (1993). Geologia. In____. **Solos do interior de São Paulo**. São Paulo, ABMS. p.1-42.
- GABE, U. ; RODELLA, A. A. (1999). Trace elements in Brazilian Agricultural limestones and mineral fertilizers. **Soil Science Plant Analitcal**, v. 30, n 5/6, p. 605-620.
- GARRELS, R. M. (1960). **Mineral equilibra**. New York, Harper & Brothers. 254 p.
- GODGUL, G.; SAHU, K. C. (1995). Chromium contamination from chromite mine. **Environmental Geology**, v. 25, p251-257.
- GUIMARÃES, D. (1964). Geologia do Brasil. **Memória da Divisão de Fomento da Produção Mineral**. Rio de Janeiro, v. 1, p.1-673.
- GUTIERREZ, A. S.; HIRATA, R. C. A.; BERTOLO, R. A. (2000). Evolução hidroquímica do Sistema Aquífero Bauru, município de Urânia (SP). (em preparação).
- HEM, J. D. (1977). Reactions of metal ions at surfaces of hydrous iron oxide. **Geochimical et Cosmochimica Acta**. v.41. p. 527-538.
- HEM, J. D. (1985) Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. **U. S. Geological Survey Water Supply Paper**, v.2254, p. 138-139.
- HENDERSON, T. (1994). Geochemical reduction of hexavalent chromium in the Trinity Sand Aquifer. **Ground Water**, v.32, n.3, p. 477-486.
- HIRATA, R. ; RODOLFI, G. (1993). **Presença de cromo nas águas subterrâneas em Urânia**. São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente/Instituto Geológico. 24 p. (Relatório Técnico).

- INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (1965).
Folha topográfica de Santa Albertina (SF-22-D-I-2): região sul do Brasil. São Paulo, IGGSP. Escala 1:50.000.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (1966).
Folha topográfica de Jales (SF-22-D-I-4): região sul do Brasil. São Paulo, IGGSP. Escala 1:50.000.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1981a). **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo.** São Paulo, IPT. v.1. Escala 1: 500.000.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1981b). **Mapa geológico do Estado de São Paulo.** São Paulo, IPT. v.1. Escala 1: 500.000.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1997). **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo.** São Paulo, IPT. v.1. Escala 1: 500.000.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1994). Recursos Minerais da Região de Governo de São José do Rio Preto-SP. São Paulo, IPT. (**Relatório n. 32209**), 115 p.
- INTERNATIONAL CENTRE FOR DIFFRACTION DATA (1995). **Powder diffraction file:** PDF-2 Database Sets 1-45. Pennsylvania, ICDD. (CD-ROM).
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (1996). Particle size analysis-Photon correlation spectroscopy. Genève, Switzerland, 20 p. (**ISO 13321**).
- JAMES, B. R.; BARTLETT, R. J. (1983). Behavior of chromium in soils: V. Fate of organically complexed Cr (III) added to soil. **Journal of Environmental Quality. American Society of Agronomy**, v.12, p. 169-172.
- JANASI, V. A.; ANDRADE, S.; ULBRICH, H. H. G. J. (1995). A correção do *drift* instrumental em ICP-AES com Espectrômetro Sequencial e a análise de elementos maiores, menores e traços em rochas. **Boletim IG-USP, Série Científica**, v. 26, p. 45-58.

- KLEIN, C.; HURLBUT, C. S. J. (1993). **Manual of Mineralogy (after James Dana)**. 21 ed. New York, John Wiley & Sons, 681 p.
- LANDIM, P. M. B.; SOARES, P. C. ; FÚLFARO, V. J. (1974). Cenozoic deposits in south-central Brazil and the engineering geology. In INTERNATIONAL CONGRESS OF IAEG, 2, São Paulo, 1974, **Proceedings**. São Paulo, IAEG. v.1, t.III, p. III-II.1- III-II.7.
- LOVE, S. K. (1967). Chromium. **U. S. Geological Survey Water Supply Paper**, n. 1947, p. 15.
- MAFRA, A.; MIKLÓS, A. A. de W. (1998a). Fertilizantes minerais solúveis e suas inconveniências ambientais: coletânea bibliográfica. In: A AGROECOLOGIA EM PERSPECTIVA / CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE AGRICULTURA BIODINÂMICA, 3 , Piracicaba, 1999. **Anais**. São Paulo, SMA/CED. p. 203-220.
- MAFRA, A.; MIKLÓS, A. A. de W. (1998b). Pesticidas agrícolas e suas inconveniências ambientais: coletânea bibliográfica. In: A AGROECOLOGIA EM PERSPECTIVA. / CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE AGRICULTURA BIODINÂMICA, 3 , Piracicaba, 1999. **Anais**. São Paulo, SMA/CED. p. 231-252.
- MASON, B.; MOORE, C. B.; (1982). **Principles of Geochemistry**. 4.ed. Toronto, John Wiley & Sons. 344 p.
- MATZAT, E.; SHIRAKI, K. (1970). Chromium. In: WEDEPOHL, K. H. **Handbook of Geochemistry**. Berlin, Springer. v. II/2. p. 24-A-1-24-A-9.
- McGRATH, S. P. (1995). Chromium and Nickel. In: _____. **Heavy metals in soils**. Glasgow, Blackie. p. 152-178.
- McKENZIE, R. M. (1989). Manganese oxides and hydroxides. In: DIXON, J. B. and S. B. SWEED (ed). **Minerals in soil environments**. 2 ed. Madison, SSSA. p. 439-461.
- MEZZALIRA, S. (1974). Contribuição ao conhecimento da estratigrafia e paleontologia do arenito Bauru. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**. São Paulo. v. 51. p. 1-163.

- MONTGOMERY, J. H. (1996). **Groundwater Chemicals**. Desk Reference. Flórida. Lewis Publishers. Second edition. 1345 p. (biblioteca do IGc-USP-363.7394 - M 787 g)
- PICCIRILLO, E. M. ; MELFI, A. J. (1988). **The mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects**. São Paulo, Universidade de São Paulo/IAG. 600 p.
- RAMDOHR, p. (1969). Oxidic ore minerals. In____. **The ore minerals and their intergrowths**. Londres. p. 878-1072.
- RAPOSO, M. I. B. (1992). **Paleomagnetismo do enxame de diques do Arco de Ponta Grossa**. São Paulo, 104 p. (Tese de Doutorado) – Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo.
- ROBERTSON, F. N. (1975). Hexavalent Chromium in the ground water in Paradise Valley, Arizona. **Ground Water**, v.13, n.6, p. 516-527.
- ROCHA, G. A. ; GIANCURSI, F. D.; PERRONI, J. C. A.; SOBREIRO NETO, A. F.; BERTACHINI, A. C.; CORREA, W. A. G.; CAMPOS, H. C. N. S.; DIOGO, A.; ROSA, R. B. G. S.; CASTRO, C. G. J. (1979). Hidrogeologia das bacias dos rios Aguapeí, Peixe e Paranapanema no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2., Rio Claro, 1979. **Atas**. Rio Claro, SBG- Núcleo de São Paulo. p. 85-100.
- ROCHA, G. A.; BERTACHINI, A., C.; CAMPOS, H.C.N.S.; CAIXETA, J. B. (1982). Tentativa de zoneamento das características hidráulicas e hidroquímicas do Aquífero Bauru. In: ENCONTRO DE GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA DO GRUPO BAURU NO ESTADO DE SÃO PAULO, 1., São Paulo, 1981. São Paulo, SBG Núcleo São Paulo/ABAS. p. 37-57.
- ROSSATO, F. M. (1999). **Modelação matemática bidimensional na definição de zonas de captura de poços no Aquífero Adamantina, município de Urânia, noroeste do Estado de São Paulo**. São Paulo, 40 p. (Monografia de Trabalho de Formatura) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

- SCHNEIDER, R. L.; MUHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A. A; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. (1974). Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre, 1974. **Anais**. Porto Alegre, SBG. v. 1. p. 41-65.
- SCHROEDER, D. C.; LEE, G. F. (1975). Pontencial transformation of chromium in natural waters. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 4, p. 355-365.
- SILVA, R. B. ; DEL MONTE, E. (1987). Mineralizações de Trona na Bacia do Paraná: uma possibilidade. **Brasil Mineral** - Engenho e Arte (Edição especial- Prêmio Nordburg de Pesquisa e Exploração Mineral). p. 24-34.
- SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B.; FÚLFARO, V. J. ; AMARAL, G.; SUGUIO, K. COIMBRA, A. M; SOBREIRO NETO, A. F.; GIANCURSI, F.; CORREA, W. A. G.; CASTRO, C. G. J. (1979). Geologia da região sudoeste do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2, Rio Claro, 1979. **Atas**. Rio Claro, SBG. v. 2. p. 307-319.
- SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B.; FÚLFARO, V. J.; SOBREIRO NETO, A. F. (1980). Ensaios de caracterização estratigráfica do Cretácio no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. **Revista Brasileira de Geociências**, v.10, n.3, p. 177-185.
- STOLLENWERK, K. G.; GROVE, D. B. (1985). Adsorption and desorption of hexavalent chromium in an alluvial aquifer near Telluride, Colorado. **Journal of Environmental Quality**, v. 14, n.1, p. 150-155.
- STUMM, W.; MORGAN, J.J. (1981). **Aquatic chemistry**. New York, John Wiley & Sons. 780p.
- SUGUIO, K. (1973). Determinação das propriedades das rochas sedimentares em laboratório. In _____. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo, Edgard Blucher Ltda. p. 26-175.
- SUGUIO, K. (1980). Propriedades dos sedimentos. In _____. **Rochas sedimentares- propriedades-gênese-importância econômica**. São Paulo, Edgard Blucher Ltda. p. 17-124.

- SUGUIO, K. (1981). Fatores paleoambientais e paleoclimáticos e subdivisão estratigráfica do Grupo Bauru. In: MESA REDONDA: A FORMAÇÃO BAURU NO ESTADO DE SÃO PAULO E REGIÕES ADJACENTES, São Paulo, 1980. **Coletânea de trabalhos e debates**. São Paulo, SBG- Núcleo São Paulo. p. 15-26.
- SZIKSZAY, M. (1981). **Hidrogeologia das Fontes de Águas da Prata, Estado de São Paulo**. São Paulo, 2v. (Tese de Livre -Docência) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- TEIXEIRA, J. A. de O. S. (1981). **Descarte de resíduo de curtume no solo**. Porto Alegre, 83 p. (Dissertação de Mestrado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- TREBIEN, D. O. P. (1994). **Influência dos teores de matéria orgânica, óxidos de manganês facilmente reduzíveis e umidade na oxidação de cromo no solo**. Porto Alegre, 81 p. (Tese de Doutorado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY- (1998). **MINTEQA A2/PRODEFA 2, A Geochemical Assessment Model for Environmental Systems.. User Manual Supplement for Version 4.0**. Revised September 1999. USAEPA. Georgia. 76 p.

ANEXOS

Anexo 1

Descrição litológica do material coletado durante a escavação do poço cacimba

Profundidade (m)	Material	Descrição litológica
0,00-0,35	Aterro	Areia fina argilosa ocre avermelhado
0,35-1,20	Solo (horizonte A)	Areia fina siltosa marrom escuro com matéria orgânica
1,20-4,50	Solo (horizonte B)	Areia fina siltosa marrom claro
4,50-4,90	Manto de intemperismo (horizonte C)	Areia fina siltosa marrom claro com níveis mais argilosos cinza claro. Contém grânulos lateríticos dispersos
4,90-5,80		Areia fina siltosa marrom claro
5,80-7,20		Areia fina siltosa marrom claro com níveis mais argilosos cinza claro. Apresenta grânulos lateríticos dispersos
7,20-7,60		Arenito amarelo silicificado com pontos brancos esparsos. Está intercalado com areia fina siltosa marrom claro que apresenta níveis mais argilosos cinza claro e grânulos lateríticos dispersos
7,60-9,30		Areia fina siltosa marrom claro com níveis mais argilosos cinza claro. Apresenta menor quantidade de grânulos
9,30-9,80		Areia fina bem selecionada marrom claro
9,80-10,50		Areia fina siltosa marrom claro com níveis mais argilosos cinza claro
10,50-11,20	Sedimento	Areia fina bem selecionada marrom claro com grânulos lateríticos e menos níveis argilosos cinza claro. Inercalado encontra-se um arenito amarelo silicificado
11,20-11,50		Areia fina siltosa marrom claro com grânulos lateríticos

Anexo 2

Cadastro de pontos de água da cidade de Urânia

Cadastro de poços tubulares da SABESP de Urânia

N.E.: nível estático; N.D.: nível dinâmico

Poço	Endereço	Coord. N-S/E-W	Cota (m)	Prof. (m)	N.E. (m)	N.D. (m)	Vazão (m3/h)	Geologia	Filtros de-até (m)	Cimentaç. (m)	Ano de perfur.	Firma perfuradora	Uso
PP 01	R. Goiás, 8	7762 536,88		160,0	40,0	99,8	8,0	0,0-160,0 G. Bauru			1979		Desativado sem bomba
PP 02	R. Fortaleza	7761,8 537,07		155,0	50,0	83,8	15,0	0,0-155,0 G. Bauru			1979		Desativado, com bomba
PP 03	Av. da Saudade	7761,9 537,2		150,0	32,0	90,2	8,0	0,0-150,0 G. Bauru					Desativado, com bomba
PP 04	R. Bened. Duarte Mendes com Barão do Rio Branco	7761,3 537,36	450	109,2	24,0	69,8	18,0	0,0-102,6 G. Bauru 102,6-109,2 S. Geral	69,22 109,21	0,00-18,00	1979	Waldemar Georg. e Cia Ltda.	Desativado, com bomba
PP 05	Próximo à Lagoa de tratamento de esgoto	7761,6 538,2	430	75,0	4,6	60,5	13,7	0,0-66,0 G. Bauru 66,0-75,0 S. Geral	44,20 65,90	0,00-10,00	1979	Hidrotécnica Serv. Geol. Ltda.	Destivado e lacrado
PP 06	R. Goiás	7761,3 535,6	460	120,0	10,0	96,4	17,2	0,0-117,0 G. Bauru 117,0-120,0 S. Geral	59,81 112,53	0,00-17,00	1982	Hidrogesp Poços Artesian.Com. Ltda.	Desativado, sem bomba
PP 08	Margem esquerda da Rod. Euclides da Cunha	7762,4 536,08	480	145,0	23,0	122,7	8,8	0,0-138,0 G. Bauru 138,0-145,0 S. Geral		0,00-18,00	1991	Politi	Desativado, sem bomba
PP 09	Próximo ao Córrego Comprido	7763,4 539,25	420	270,0			2,2	0,0-67,6 G. Bauru 67,6-270,0 S. Geral		0,00-18,00	1995	Geoplan	Não foi explorado

Data de medida	Nível de água (m)			
	PP 01	PP 05	PP 06	PP 08
19/06/98	28,40	jorrante	23,61	24,66
23/11/98	29,73	não jorrou, lacrado	25,80	25,65
09/03/99	26,80	jorrante	19,10	22,85
19/06/99	25,40	jorrante	18,12	22,61

Cadastro de poços tubulares particulares de Urânia.

Poço	Proprietário	Endereço	Prof. (m)	N.água (m)	Vazão (m³/h)	Tubo encam.(m)	Provável ano perf.	Firma perfuradora	Uso da água	Observações
PT 01	Mário Akamatsu	R. Jales, 443	50,0	30,0	1,5	22,0	1992		Não bebem	Quintal de terra. Utilizou-se esterco animal na horta.
PT 02	Jorge Tadashi	R. Natal, 1384	59,0	27,0	0,7	9,0	1996	Contratada da Jima	Bebem	Quintal cimentado ao redor do poço
PT 03	Wilson Fernandes dos Santos	R. 21 de Novembro, 489	50,0	12,0	2,0	27,0	1995	Firma de Sta. Clara do Oeste	Não bebem	Quintal cimentado ao redor do poço. Poço com cobertura de concreto.
PT 04	Francisco Airton Saracua	Av. Brasil, 995	50,0		1,3	16,0	1996	Franzini	Não bebem	Quintal cimentado ao redor do poço. Poço com cobertura de concreto.
PT 05	Alirio Fazzio (fábrica de móveis)	Rod. Euclides da Cunha, km 549,5	aprox. 180				1966		Bebem	Quando o atual proprietário comprou o terreno o poço já existia. Existe uma fossa próxima ao poço.
PT 06	Almino Gitti (Posto Ipiranga)	Av. Brasil, 684	60,0		2,0	60,0	1993		Não bebem	Quintal cimentado ao redor do poço
PT 07	Auto Posto Urânia	R. Barão do Rio Branco, 133	60,0		3,6	24,0	1997	Gima (Jales)	Não bebem	Quintal não cimentado ao redor do poço. A água do poço vai direto para a caixa d'água.
PT 08	Ozório Barison	Av. Presidente, Chácar. Boa Vista	100,0		10,0	17,0	1991	Firma (Tabapuã)	Bebem	Quintal não cimentado ao redor do poço. Utiliza-se esterco animal na horta.
PT 09	Adelino Gitti (Auto Posto Texaco)	Av. Brasil, 10	100,00		10,0	100,00	1988		Bebem	Quintal de terra. Quando o poço foi construído, apresentou 0,03 mg/L de cromo.
PT 10	Sta. Casa da Miser. (Sr. Jacinto)	R. da Glória, 218	80,00	50,00			1993	Darson Zagato (Fernandópolis)	Não bebem	Caixa de concreto ao redor do poço. Quintal de terra. A água do poço vai p/ a caixa d'água.
PT 11	Adail Amorin	R. da Saudade, 595	60,00		2,5	28,00	1997	Água Rasa (Jales)	Não bebem	Caixa de concreto ao redor do poço. Quintal de terra.
PT 12	Luis Carlos de More	Final da R. Bom Jesus	52,00	27,00	0,9	30,00	1994		Bebem	Quintal de terra ao redor do poço.
PT 13	Urbano Scapin	R. Tanabi, 287	48,00	1,80	6,0	12,00	1993	Frazini Bombas (Jales)	Bebem	Quintal cimentado ao redor do poço
PT 14	Clube dos 100	R. Barão do Rio Branco, 546	45,00		1,8	42,00	1995	Frazini Bombas (Jales)	Bebem	Terreno não cimentado ao redor do poço. Existe uma fossa ativada na sauna.
PT 15	Jorge Yagui	R. São Paulo, 15	40,00			8,00	1989		Bebem	Quintal de terra ao redor do poço.
PT 16	Antônio Vila	R. Dona Leonor	60,00	13,00	2,6	40,00	1997	Água Rasa (Jales)	Não bebem	Quintal de terra ao redor do poço. Utiliza-se esterco animal na horta.

Cadastro de poços cacimbas de Urânia

Poço	Proprietário	Endereço	Diâm. (m)	Prof. (m)	N.água (m)	Uso da água	Equip. bomb.	Provável ano perf.	Observações
PC 01	Raul Cardoso da Silva	R. Esperança, 264	1,20	13,0	poço lacrado	Bebem	Sim	1994	Poço tampado com laje de concreto. Quintal de terra ao redor do poço.
PC 02	Jacob Azol	R. Rio Preto, 572	1,10	16,0	12,8	Não bebem	Sim	1992	Poço tampado com laje de concreto. Quintal de terra com 20 cm de cimento ao redor do poço.
PC 03	Antônio Peres Paiares	Av. Brasil, 687	1,00	15,0	12,0	Não bebem	Sim	1994	Poço tampado com laje de concreto. Quintal cimentado.
PC 04	Antônio Ruiz	Av. Brasil, 785	1,35	16,0	14,1	Não bebem	Sim	1990	Poço tampado com laje de concreto. Quintal de terra ao redor do poço.
PC 05	Flamínio Flávio Estal	R. Guanabara, 389	1,00	10,0	8,0	Bebem	Sim	1997	Poço lacrado com laje de concreto. Quintal cimentado.
PC 06	João Gasqui	R. Esperança, 219	1,00	15,0	9,0	Não bebem	Sim	1989	Poço tampado com laje de concreto. Quintal de terra ao redor do poço. Utiliza-se esterco animal na horta.
PC 07	Inácio Gonçalves	R. Rio Preto, 200	1,20	16,0	12,9	Bebem	Sim	1993	Poço tampado com laje de concreto. Quintal todo calçado. O vizinho possui uma horta.
PC 08	Rossini	R. Benedito D. Mendes, 235	0,85	5,2	3,3	Não bebem	Sim	1990	Poço tampado com laje de concreto. Quintal todo cimentado.
PC 09	Antônio Beltrami	Av. Presidente Kennedy, 227	1,20	9,0	6,5	Não bebem	Sim		Poço tampado com laje de concreto. Quintal todo cimentado. Os atuais moradores vivem nesta casa a dois anos.
PC 10	José Carlos Chaves	R. Ceará, 159	1,00	18,0	16,0	Não bebem	Sim	1997	Poço lacrado. Quintal de terra ao redor do poço.
PC 11	Anori de Fátima	R. Tanabi, 287	1,20	15,0	12,0	Não bebem	Sim		Poço tampado com laje de concreto. Quintal todo cimentado.
PC 12	Laurito Roque Nunes	R. Maranhão, 230	1,20	8,1	7,1	Não bebem	Sim	1992	Poço tampado com várias tábuas e com 50 cm de azulejo ao redor. Existe uma fossa com cota topográfica maior do que a do poço.
PC 13	Valdemar Francisco	R. Barão do R. Branco, 954	1,00	5,0	3,5	Bebem às vezes	Sim	1998	Poço tampado com laje de concreto. Quintal de terra ao redor do poço.
PC 14	João Maria de Lima	R. Barão do R. Branco, 1194	1,05	5,2	4,4	Não bebem	Sim	1990	Poço tampado com laje de concreto. Quintal de terra ao redor do poço. Foram colocados peixes no poço. Existe fossa no vizinho.
PC 15	Sebastião Muniz	R. Barão do R. Branco, 1854	0,95	3,9	2,8	Bebem	Sim	1994	Poço tampado com laje de concreto. Quintal de terra com 30 cm de cimento ao redor do poço.
PC 16	Bento Bituri	R. Aleixo Pigário, 987	1,00	6,9	5,4	Não bebem	Sim		Poço tampado com laje de concreto. Quintal todo cimentado.
PC 17	Silas L. Moura (antigo morador)	Av. Presidente Kennedy, 1219	0,95	7,4	6,4	Não bebem	Sim		Poço tampado com laje de concreto. Quintal todo cimentado.
PC 18	Antônio R. Gomes	R. Benedito D. Mendes, 19	1,20	9,6	7,9	Não bebem	Sim	1992	Poço tampado com laje de concreto. Quintal todo cimentado. O vizinho possui uma fossa.

Poço	Proprietário	Endereço	Diâm. (m)	Prof. (m)	N.água (m)	Uso da água	Equip. bomb.	Provável ano perf.	Observações
PC 19	Maria Lindalva de Brito	R. da Glória, 1783	1,20	12,0		Não bebem	Sim	1997	Poço tampado com laje de concreto. Quintal de terra ao redor do poço.
PC 20	Dionézio Lima	Av. Dr. Getúlio Vargas 1169	1,20	7,5	6,1	Bebem	Sim		Poço tampado com laje de concreto. Quintal de terra com 30 cm de cimento ao redor do poço. Existem peixes no poço.
PC 21	Tiago Lemes do Prado	R. Terezina, 51	1,10	11,0	10,1	Não bebem	Sim	1994	Poço tampado com laje de concreto. Quintal todo cimentado.
PC 22	Reginaldo Lopes da Silva	R. Terezina, 1231	1,05	11,6	10,1	Bebem	Sim	1993	Poço tampado com laje de concreto. Quintal todo cimentado.
PC 23	Maria Rosa de Oliveira	R. Leonor, 2095	1,20	16,0	14,4	Não bebem	Sim	1995	Quintal de terra com horta. Poço tampado com laje de concreto.
PC 24	Maria Aparecida Marque Pereira	R. Bandeirant., 158	1,30	19,0	15,0	Bebem	Sim	1992	Quintal de terra. Poço tampado com laje de concreto.
PC 25	Agenor Ribeiro	R. Rio de Janeiro, 24	1,10		12,4	Bebem	Não	1941	Poço tampado com tábuas. Quintal cimentado próximo ao poço. Existe uma fossa no quintal.
PC 26	José Vivilaqua	R. Espírito Santo	1,20	18,0	14,5	Desativado	Não	1988	Quintal de terra, cimentado ao redor do poço, que está tampado com tábuas.
PC 27	Catarina Olinda de Oliveira	R. Esperança, 1286	1,00		16,4	Não bebem	Sim		Poço dentro da cozinha da casa.
PC 28	José Lino Pires	Av. dos Andradas, 1288	1,00	7,8	5,8	Não bebem	Sim	1998	Poço com tampa de concreto. Quintal de terra.

Data de medida do nível de água	N.A. (m)				
	PC 02	PC 14	PC 16	PC 18	PC 22
18/06/99	12,77	4,15	5,35	7,90	10,10
10/03/99	12,95	3,35	5,15	7,65	10,30
19/06/99	12,80	3,99	5,50	7,97	10,07

Anexo 3

Descrição da análise macroscópica de amostras de solos e sedimentos de Urânia

Amostras	Descrição
A2-0,4	Areia muito fina argilosa marrom escuro
A2-1,0	Areia fina argilosa marrom escuro
A2-2,0	Areia fina siltosa marrom claro
A2-2,5	Areia fina siltosa marrom claro
A4-0,4	Areia fina muito argilosa marrom escuro
A4-1,0	Areia fina siltosa marrom claro
A4-2,0	Areia fina siltosa marrom claro
A5-0,4	Areia fina siltosa marrom avermelhado
A5-1,0	Areia fina siltosa marrom avermelhado
A5-2,0	Areia fina siltosa marrom claro
A6-0,4	Areia fina siltosa marrom avermelhado
A6-1,0	Areia fina siltosa marrom avermelhado
A6-2,0	Areia fina siltosa marrom claro
A7-0,4	Areia fina siltosa marrom avermelhado
A7-1,0	Areia fina siltosa marrom avermelhado
A7-2,0	Areia fina siltosa marrom avermelhado
A8-0,4	Areia fina muito argilosa marrom avermelhado
A8-1,0	Areia fina siltosa marrom avermelhado
A8-2,0	Areia fina siltosa marrom avermelhado
A4-M	Areia fina argilosa marrom escuro
A6-M	Areia fina argilosa marrom avermelhado
PC-0,4	Areia fina siltosa marrom bem escuro
PC-1,0	Areia fina siltosa marrom escuro
PC-2,0	Areia fina siltosa marrom claro
PC-3,0	Areia fina siltosa marrom claro
PC-4,0	Areia fina siltosa marrom claro
PC-5,0	Areia fina siltosa marrom claro
PC-6,0	Areia fina siltosa marrom claro com níveis mais argilosos cinza claro
PC-7,0	Areia fina siltosa marrom claro com níveis mais argilosos cinza claro e grânulos lateríticos
PC-8,0	= PC-7,0 e aumento dos níveis argilosos
PC-9,0	= PC-8,0
PC-9,5	Areia fina bem selecionada marrom claro
PC-10,0	Areia fina bem selecionada marrom claro com níveis mais argilosos cinza claro
PC-10,5	= PC-10,0 com grânulos lateríticos, porém com menos níveis argilosos
PC-11,5	Areia fina siltosa marrom claro com grânulos lateríticos

Amostras de solos da ZOC: A2, A4, A5, A6, A7 e A8 - coletadas nas profundidades de 0,4; 1,0; 2,0 e 2,5 m

Amostras de solos de Urânia: A4-M e A6-M - coletadas na profundidade de 0,2 m

Amostras de solos e sedimentos do poço cacimba: PC - coletadas nas profundidades de 0,4 a 11,5 m

Anexo 4

Resultados das análises granulométricas
(Métodos de Pipetagem e Peneiramento e Espectroscopia de Photon Correlação)

Resultados da análise granulométrica de amostras de solos da Zona de Captura de Poços (ZOC) e da cidade de Urânia
(Método de Pipetagem e Peneiramento)

CÓDIGO DA AMOSTRA	PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA				FAIXA GRANULOMÉTRICA (%)												RELAÇÃO FINO/GROSSO
					Cascalho			Areia						Pelitos			
	Diâmetro médio	Desvio padrão	Assimetr.	Curtose	Seixos	Grânulos	Total	Muito gros.	Grossa	Média	Fina	Muito fina	Total	Argila	Total		
A2-0,4	4,60	2,86	0,74	1,79	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	9,73	33,75	22,95	66,64	27,21	33,36	0,5005	
A2-1,0	4,37	2,75	0,94	2,15	0,00	0,00	0,00	0,06	0,11	9,42	36,34	24,37	70,30	24,18	29,70	0,4226	
A2-2,0	4,41	2,75	0,93	2,13	0,00	0,05	0,05	0,08	0,08	8,29	36,51	25,32	70,27	24,57	29,68	0,4221	
A2-2,5	4,49	2,82	0,84	1,96	0,00	0,05	0,05	0,15	0,12	9,00	34,94	25,09	69,29	26,24	30,66	0,4421	
A4-0,4	4,45	2,77	0,84	2,01	0,00	0,00	0,00	0,14	0,25	8,93	35,94	24,03	69,28	23,93	30,72	0,4433	
A4-1,0	4,50	2,83	0,78	1,92	0,00	0,20	0,20	0,10	0,08	10,44	34,26	22,93	67,81	25,82	31,99	0,4703	
A4-2,0	4,57	2,83	0,79	1,86	0,00	0,03	0,03	0,05	0,13	8,68	34,24	24,44	67,54	27,02	32,44	0,4801	
A8-0,4	4,51	2,69	0,88	2,08	0,00	0,00	0,00	0,19	0,10	5,58	34,08	29,04	68,99	23,64	31,01	0,4494	
A8-1,0	4,45	2,64	0,08	2,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	3,47	36,91	29,43	69,83	22,95	30,17	0,4320	
A8-2,0	4,40	2,65	1,00	2,32	0,00	0,00	0,00	0,18	0,09	5,94	34,40	29,93	70,54	23,06	29,46	0,4177	
A4-M	3,43	2,22	0,96	4,70	0,00	4,21	4,21	1,18	1,08	7,62	31,02	36,47	77,37	8,70	18,41	0,2257	
A6-M	4,64	2,54	0,56	2,38	0,00	0,00	0,00	1,07	4,28	5,37	10,71	32,34	53,77	19,12	46,23	0,8597	

Amostras de solos da ZOC: A2, A4 e A8 - coletadas nas profundidades de 0,4; 1,0; 2,0 e 2,5 m

Amostras de solos de Urânia: A4-M e A6-M - coletadas na profundidade de 0,2 m

Resultados da análise granulométrica de amostras de solos e sedimentos do poço cacimba
(Método de Espectroscopia de Photon Correlação)

CÓDIGO DA AMOSTRA	ARGILA (< 2 micra)	SILTE (2 a 65,61 micra)	AREIA FINA (65,61 a 258,95 micra)	AREIA MÉDIA (258,95 a 477,01 micra)	AREIA GROSSA (> 477,01 micra)	TOTAL (%)
PC-0,4-T	0	16,18	64,53	17,23	2,06	100
PC-1,0-T	0	24,19	59,10	14,79	1,92	100
PC-2,0-T	0	23,94	56,31	17,34	2,41	100
PC-3,0-T	0	30,56	49,87	17,29	2,28	100
PC-4,0-T	0	31,80	54,89	12,34	0,97	100
PC-5,0-T	0	30,67	54,92	12,93	1,48	100
PC-6,0-T	0	31,06	55,92	11,65	1,37	100
PC-7,0-T	0	37,17	51,45	10,49	0,89	100
PC-8,0-T	0	41,42	49,19	8,52	0,87	100
PC-9,0-T	0	30,52	60,28	8,29	9,91	100
PC-9,5-T	0	7,47	59,33	30,91	2,29	100
PC-10,0-T	0	22,44	47,02	24,76	5,78	100
PC-10,5-T	0	28,08	43,92	15,32	12,68	100
PC-11,5-T	0	15,93	60,59	19,36	4,12	100

Profundidade de coleta das amostras: de 0,4 a 11,5 m

Anexo 5

Resultados das análises químicas de solos e sedimentos coletados na ZOC e no poço cacimba
(Técnica de Fluorescência de Raios X e ICP-AES-Plama)

Os valores para elementos maiores e menores estão em porcentagem e para os elementos traços em ppm.

Amostras de solos da ZOC: A2, A4, A5, A6, A7 e A8

Profundidades de coleta: 0,4; 1,0; 2,0 e 2,5 m

Amostras de solos de Urânia: A4-M, A4-MT (duplicata da A4-M), A4-M-FL (fração grossa-flutuado) e A6-M

Profundidade de coleta: 0,2 m

Amostras do poço cacimba e suas respectivas profundidades:

solos: PC-0,4; PC-1,0; PC-2,0; PC-3,0; PC-4,0; PC-5,0; PC-6,0; PC-7,0; PC-8,0; PC-9,0; PC-9,5

sedimentos: PC-10,5; PC-11,5

arenito menos alterado: PC-7,2

T: fração total; F: fração fina; FL: fração grossa (flutuado) e A: fração grossa (afundado)

a e b: análises executadas em duplicata

P.F.: perda ao fogo (perda de voláteis ligados à estrutura dos minerais por aquecimento da amostra até 1000° C)

H₂O: teor de umidade que a amostra do pó de solo absorve em contato com a atmosfera

Resultados de análises químicas de solos de Urânia por FRX (os valores estão em porcentagem para elementos menores e maiores e em ppm para os elementos traços).

Elementos	A2-0,4-T	A2-1,0-T	A2-2,0-T	A2-2,5-T	A4-0,4-T	A4-1,0-T	A4-2,0-T	A5-0,4-T	A5-1,0-T	A5-2,0-T	A6-0,4-T	A6-1,0-T	A6-2,0-T	A7-0,4-T	A7-1,0-T	A7-2,0-T	A8-0,4-T	A8-1,0-T	A8-2,0-T	A4-M	A6-M
SiO ₂	73,9	74,8	72,1	71,9	74,3	72,8	72,4	69,1	75	72,8	69,7	74,0	72,8	68,1	76,9	68,3	72,2	71,5	73,8	78,2	65,9
Al ₂ O ₃	8,37	8,00	10,70	9,33	8,30	10,10	8,54	10,90	8,63	9,09	9,60	7,87	8,78	9,72	6,73	9,14	7,85	7,29	7,69	4,45	10,10
Fe ₂ O ₃	3,14	2,98	3,21	3,35	2,71	2,97	3,06	3,84	3,62	3,82	4,68	4,33	4,39	5,08	4,09	5,30	5,34	4,89	5,24	5,03	9,26
MgO	0,13	0,13	0,18	0,11	0,12	0,14	0,09	0,18	0,12	0,11	0,15	0,11	0,11	0,15	0,10	0,14	0,14	0,17	0,13	0,22	1,50
CaO	0,07	0,07	0,06	0,03	0,10	0,06	0,06	0,10	0,04	0,01	0,06	0,04	0	0,09	0,03	0,04	0,06	0,09	0,03	0,12	0,05
Na ₂ O	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
K ₂ O	0,12	0,11	0,11	0,07	0,09	0,07	0,06	0,14	0,09	0,07	0,10	0,07	0,06	0,10	0,06	0,08	0,11	0,11	0,07	0,27	1,62
P ₂ O ₅	0,03	0,03	0,03	0,02	0,04	0,03	0,02	0,05	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,05	0,02	0,03	0,04	0,03	0,02	0,08	0,04
MnO	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,04	0,04	0,04	0,12
TiO ₂	1,84	1,77	1,96	1,99	1,79	1,93	1,92	2,03	1,88	1,98	2,00	1,91	1,99	1,95	1,67	2,06	2,05	1,97	2,05	1,42	2,79
Total	87,7	87,5	88,0	86,9	87,0	88,1	85,7	86,4	89,4	87,9	86,3	88,4	88,2	85,2	89,6	85,2	87,8	85,6	89,1	89,4	90,9
Ba	78	75	90	52	79	60	52	82	77	69	73	74	45	92	74	77	74	66	71	147	523
Cr	153	148	204	166	133	139	160	156	170	179	198	189	180	197	164	250	181	184	230	180	201
Ni	23	23	26	24	24	24	23	27	24	24	28	25	25	28	23	27	30	26	26	23	80
Sr	7	8	7	4	8	6	5	6	7	5	7	7	6	6	7	5	10	8	8	20	41
V	142	134	151	156	133	148	154	165	157	162	176	160	168	176	142	187	173	164	174	129	258
Zr	624	565	574	663	572	583	630	621	596	646	706	658	698	649	611	708	730	719	708	563	792
Co	29	47	36	25	40	26	35	41	34	39	50	36	43	34	37	44	32	33	43	78	110
Cu	42	35	41	47	40	45	44	53	42	42	57	37	47	58	39	56	57	51	46	34	71
Zn	21	17	15	16	17	17	16	16	17	17	21	18	11	17	16	15	22	18	17	20	66
Ga	11	11	13	12	12	12	11	12	11	11	9	10	11	11	10	10	11	9	9	6	13
Rb	38	30	30	32	34	33	31	37	31	31	33	31	29	32	29	30	33	29	28	29	67
Y	49	39	31	39	43	43	38	53	34	35	48	35	31	51	30	44	41	37	28	24	82
Nb	52	48	50	53	53	54	55	52	48	50	48	47	48	45	41	45	45	46	44	30	39
Sc	25	22	24	24	22	25	25	26	24	24	25	22	24	28	21	25	24	24	23	16	32
La	23	13	7	< LD	17	10	2	24	5	< LD	10	6	< LD	14	< LD	< LD	16	1	< LD	< LD	46
Ce	90	88	90	88	93	113	89	90	79	80	83	76	78	91	59	73	91	97	81	41	157
Nd	45	39	27	23	37	36	22	48	39	26	46	34	25	47	29	36	46	37	30	26	85
Pb	76	53	56	72	58	69	72	74	57	65	72	66	64	80	55	78	66	60	54	41	57
Th	29	17	23	29	25	29	27	30	23	27	32	29	28	33	24	32	33	27	29	19	40
U	100	80	82	105	94	98	102	109	80	97	106	92	95	113	84	112	93	98	86	70	61
S	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Cl	< LD	< LD	24	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	42	< LD	< LD	99	28	77	17	80	< LD	< LD	< LD	< LD	59
F	< LD	< LD	242	< LD	< LD	187	< LD	< LD	< LD	< LD	144	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	39	< LD	75
Total	87,8	87,6	88,2	87	87,1	88,3	85,8	86,5	89,5	88,1	86,5	88,6	88,3	85,4	89,8	85,4	88	85,7	89,2	89,5	91,2

Resultados de análises químicas de solos, sedimentos e rocha de Urânia pelo ICP-AES (Plasma).

Obs: Os valores estão em porcentagem para elementos menores e maiores e em ppm para os elementos traços.

Elementos	Amostra																			
	A2-0,4-T	A2-1,0-T	A2-2,0-T	A2-2,5-T	A4-0,4-T	A4-0,4-T	A4-1,0-T	A4-2,0-T	A5-0,4-T	A5-1,0-T	A5-2,0-T	A6-0,4-T	A6-1,0-T	A6-2,0-T	A7-0,4-T	A7-1,0-T	A7-2,0-T	A8-0,4-T	A8-1,0-T	A8-2,0-T
SiO ₂	83,64	84,28	84,12	84,74	82,51	82,51	84,82	82,83	82,17	83,88	84,41	82,16	83,48	84,17	81,80	83,07	83,97	80,99	84,98	84,83
Al ₂ O ₃	7,83	7,23	7,29	7,61	7,6	7,72	7,94	7,85	7,60	7,00	7,26	7,60	6,74	6,77	7,18	6,93	6,48	7,11	6,37	6,26
Fe ₂ O ₃	2,82	2,65	2,68	2,96	2,38	2,52	2,58	2,70	3,29	3,39	3,45	4,16	3,97	4,01	4,52	4,65	4,53	4,69	4,48	4,76
MgO	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,11	0,12	0,10	0,10	0,08	0,07	0,09	0,08	0,07	0,09	0,09	0,08	0,16	0,16	0,14
CaO	0,11	0,09	0,07	0,06	0,12	0,12	0,09	0,09	0,16	0,13	0,09	0,13	0,12	0,09	0,12	0,13	0,11	0,1	0,07	0,07
Na ₂ O	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
K ₂ O	0,19	0,16	0,14	0,12	0,14	0,13	0,12	0,11	0,09	0,08	0,04	0,06	0,07	0,03	0,06	0,07	0,04	0,17	0,16	0,13
P ₂ O ₅	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
MnO	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,06	0,05	0,05
TiO ₂	1,74	1,71	1,79	1,85	1,73	1,72	1,75	1,85	1,72	1,75	1,83	1,84	1,83	1,85	1,79	1,90	1,83	1,95	1,93	1,96
P.F.	4,19	3,42	3,29	3,57	4,17	4,17	3,79	3,74	4,20	3,35	3,46	3,95	3,30	3,31	3,98	3,95	3,23	4,15	3,17	3,15
Total	100,71	99,71	99,52	101,06	98,81	99,05	101,25	99,30	99,37	99,68	100,64	100,04	99,63	100,33	99,58	100,82	100,30	99,38	101,37	101,34
H ₂ O ⁺	0,99	1,04	0,96	0,81	1,06	1,06	0,89	1,08	2,37	1,23	0,80	1,18	1,24	1,26	2,13	1,65	1,15	0,99	0,98	0,82
Ba	54	49	45	39	48	45	40	41	52	43	40	48	42	37	48	50	44	61	54	45
Cr	208	190	204	213	174	179	199	205	180	208	203	232	230	219	224	235	255	233	230	309
Ni	40	31	32	35	23	27	34	32	23	28	24	22	21	18	21	22	20	< 15	27	35
Sr	24	25	23	25	20	19	18	23	16	14	18	19	19	13	< 10	16	23	23	19	19
V	97	85	92	94	89	87	91	101	90	103	107	115	109	106	117	119	114	118	111	124
Zr	280	260	270	277	269	272	259	277	263	322	293	305	352	337	308	333	314	333	328	308

Elementos	Amostra	a		b		a		b		a		b		a		b		a		b	
		A4-M	A4-MT	A4-M-FL	A4-M-FL	A6-M	A1-F	A1-FL	A1-FL	A1-A	A2-F	A2-FL	A2-A	PC-0,4T	PC-1,0T	PC1,0F	PC1,0FL	PC1,0A	PC-2,0T	PC-2,0T	PC-3,0T
SiO ₂	86,33	87,17	98,65	98,58	70,26	41,25	95,71	95,31	11,31	46,90	95,55	12,40	88,23	81,42	43,80	97,99	15,38	84,47	85,29	83,84	
Al ₂ O ₃	3,49	3,29	0,50	0,49	10,38	29,35	1,96	1,96	5,25	24,68	1,72	5,45	4,58	7,81	27,58	0,91	4,29	6,95	6,89	6,95	
Fe ₂ O ₃	4,64	4,14	0,41	0,40	8,36	9,19	0,90	0,88	31,79	11,30	1,15	35,43	2,25	3,07	8,80	0,64	32,51	2,97	3,00	3,01	
MgO	0,18	0,11	0,02	0,02	1,37	0,44	0,02	0,02	1,13	0,39	0,02	1,15	0,11	0,15	0,44	0,02	1,13	0,12	0,12	0,12	
CaO	0,13	0,11	0,04	0,04	0,08	0,13	0,02	0,02	0,10	0,08	0,02	0,09	0,08	0,08	0,05	0,01	0,09	0,06	0,06	0,05	
Na ₂ O	< 0,01	< 0,01	0,02	0,04	0,02	0,03	0,03	0,01	0,08	0,02	0,02	0,06	0,01	0,02	0,02	0,01	0,10	0,01	0,01	0,01	
K ₂ O	0,27	0,17	0,19	0,22	1,62	0,35	0,10	0,07	0,05	0,32	0,10	0,05	0,12	0,13	0,31	0,04	0,06	0,11	0,12	0,08	
P ₂ O ₅	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	0,06	0,01	0,01	0,04	0,06	0,01	0,04	0,01	0,01	0,09	< 0,01	0,04	< 0,01	0,01	< 0,01	
MnO	0,05	0,03	< 0,01	< 0,01	0,14	0,06	< 0,01	< 0,01	1,02	0,06	< 0,01	0,96	0,04	0,04	0,04	0,01	1,34	0,03	0,03	0,03	
TiO ₂	1,37	1,28	0,08	0,08	2,72	5,34	0,41	0,40	43,58	4,74	0,40	37,46	1,51	1,78	4,60	0,23	41,78	1,80	1,80	1,82	
P.F.	2,86	2,68	0,33	0,35	5,29	14,17	1,16	1,16	1,93	11,66	1,12	2,11	2,92	4,10	14,43	0,66	1,56	3,29	3,29	3,23	
Total	99,37	99,00	100,27	100,24	100,24	100,37	100,31	99,84	96,30	100,20	100,10	95,19	99,87	98,61	100,16	100,51	101,19	99,80	100,62	99,13	
H ₂ O ⁻	0,84	0,84	0,03	0,03	3,42	1,18	0,28	0,23	0,39	1,13	0,23	0,33	0,63	1,23	3,85	0,12	0,51	0,88	0,88	0,78	
Ba	94	73	53	51	404	109	24	23	122	102	22	113	48	50	98	20	97	39	39	33	
Cr	219	251	10	4	268	400	59	58	6780	329	58	6568	180	202	490	81	7229	214	207	197	
Ni	26	16	4	1	95	112	16	12	110	91	15	116	52	32	145	34	112	33	22	26	
Sr	28	< 10	7	7	50	16	3	3	29	14	3	22	8	8	13	< 5	22	6	6	6	
V	95	105	10	7	190	290	26	30	1767	303	28	1636	76	96	248	< 15	1715	100	98	96	
Zr	304	307	30	35	493	440	74	77	22463	426	83	16598	274	292	410	43	21593	309	305	296	
%ZrO ₂									3,04			2,24					2,92				

Elementos	Amostra		a		b		a		b		a		b		a		b		a		b	
	PC-4,0T	PC-5,0T	PC-6,0T	PC-6,0T	PC6,0F	PC6,0F	PC6,0FL	PC6,0A	PC-7,0T	PC-7,2T	PC-8,0T	PC-9,0T	PC-9,0T	PC-9,5T	PC9,5F	PC9,5FL	PC9,5A	PC10,5T	PC-11,5T			
SiO ₂	82,22	83,67	83,35	83,53	43,98	43,89	97,38	12,21	81,12	93,54	80,23	77,10	77,25	91,94	62,78	96,40	9,85	67,40	82,11			
Al ₂ O ₃	7,61	7,18	7,55	7,61	27,86	28,24	1,28	4,98	8,14	1,79	7,86	7,06	7,14	2,32	12,56	1,27	2,89	11,28	5,47			
Fe ₂ O ₃	3,15	3,33	3,04	3,15	8,39	8,31	0,70	32,85	4,08	2,64	4,85	7,44	7,08	2,62	10,01	1,24	44,91	8,62	4,69			
MgO	0,14	0,14	0,16	0,17	0,50	0,49	0,02	1,14	0,24	0,06	0,61	0,97	0,97	0,39	2,16	0,23	1,15	2,56	1,15			
CaO	0,03	0,04	0,06	0,07	0,06	0,06	0,01	0,08	0,05	0,02	0,10	0,15	0,15	0,09	0,67	0,05	0,16	0,59	0,27			
Na ₂ O	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,10	0,02	0,01	0,04	0,05	0,06	0,04	0,04	0,03	0,08	0,10	0,08			
K ₂ O	0,10	0,12	0,17	0,17	0,40	0,42	0,05	0,08	0,30	0,10	0,87	1,35	1,37	0,60	1,18	0,39	0,34	2,46	1,45			
P ₂ O ₅	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	0,02	0,03	< 0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	< 0,01	0,09	< 0,01	0,04	0,01	< 0,01			
MnO	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05	0,01	1,35	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,03	0,08	0,01	1,02	0,12	0,06			
TiO ₂	2,00	2,01	2,17	2,11	5,51	5,57	0,37	42,90	2,25	0,26	2,29	2,50	2,46	0,87	2,47	0,19	32,22	1,94	1,50			
P.F.	3,42	3,29	3,44	3,61	12,80	12,80	0,66	2,23	3,85	1,29	3,69	3,09	3,09	1,15	7,59	0,89	2,56	5,16	2,75			
Total	98,72	99,81	99,99	100,48	99,60	99,88	100,49	101,09	100,08	99,75	100,58	99,79	99,64	100,04	99,65	100,71	96,17	100,24	99,54			
H ₂ O	0,81	0,81	1,04	1,04	3,92	3,92	0,17	0,85	1,20	0,23	1,59	2,05	2,05	1,39	7,53	0,44	1,12	8,84	4,28			
Ba	37	38	50	49	105	105	25	101	80	91	186	288	288	157	335	104	229	473	325			
Cr	271	312	296	297	578	598	76	7704	594	409	322	355	362	61	301	30	1475	195	161			
Ni	31	22	27	23	135	142	26	110	28	< 15	28	36	32	17	109	25	122	86	37			
Sr	6	7	8	8	16	15	< 5	23	11	10	23	35	36	20	83	13	34	63	45			
V	117	120	112	108	268	279	25	1759	152	54	115	148	145	55	166	17	2059	106	83			
Zr	319	369	408	415	537	542	64	23392	398	81	357	384	377	134	295	30	7104	320	244			
%ZrO ₂								3,16									0,96					

Anexo 6

Análise estatística de solos da ZOC, solos e sedimentos do poço cacimba e águas dos poços tubulares da Sabesp, tubulares particulares e cacimbas
(Relação de Pearson)

Cálculos estatísticos para as análises químicas de solos da ZOC.

(19 amostras)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	TiO ₂	Ba	Cr	Ni	Sr	V	Zr
SiO ₂	1	-0,290	-0,210	0,050	-0,640	0,061	-0,110	-0,260	0,037	-0,510	0,162	0,546	0,190	-0,190	-0,120
Al ₂ O ₃		1	-0,760	-0,010	0,187	0,223	0,080	-0,420	-0,590	-0,060	-0,720	0,369	0,207	-0,650	-0,720
Fe ₂ O ₃			1	-0,020	0,116	-0,340	-0,090	0,624	0,738	0,323	0,770	-0,620	-0,370	0,932	0,804
MgO				1	-0,420	0,923	0,229	0,692	0,247	0,654	0,138	0,392	0,486	-0,070	-0,200
CaO					1	-0,360	0,223	-0,230	-0,410	0,266	-0,260	-0,440	-0,450	0,035	0,119
K ₂ O						1	0,267	0,426	-0,030	0,555	-0,120	0,577	0,597	-0,340	-0,380
P ₂ O ₅							1	0,050	-0,280	0,294	-0,120	0,074	0,073	-0,180	-0,200
MnO								1	0,705	0,651	0,548	-0,220	0,054	0,549	0,372
TiO ₂									1	0,166	0,761	-0,270	0,040	0,793	0,631
Ba										1	0,061	-0,170	0,163	0,206	0,109
Cr											1	-0,09	-0,030	0,829	0,558
Ni												1	0,442	-0,470	-0,630
Sr													1	-0,320	-0,380
V														1	0,779
Zr															1

Cálculos estatísticos para as análises químicas de solos e sedimentos do poço cacimba.

(13 amostras)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	TiO ₂	Ba	Cr	Ni	Sr	V	Zr
SiO ₂	1	-0,900	-0,900	-0,800	-0,800	-0,700	-0,700	-0,800	-0,590	-0,690	-0,280	-0,700	-0,700	-0,530	-0,470
Al ₂ O ₃		1	0,620	0,481	0,474	0,266	0,370	0,558	0,720	0,305	0,449	0,517	0,310	0,648	0,684
Fe ₂ O ₃			1	0,910	0,820	0,850	0,920	0,890	0,441	0,890	0,183	0,639	0,880	0,414	0,277
MgO				1	0,980	0,940	0,980	0,970	0,080	0,960	-0,140	0,790	0,970	0,046	-0,030
CaO					1	0,900	0,920	0,970	-0,030	0,910	-0,230	0,850	0,920	-0,070	-0,090
Na ₂ O						1	0,980	0,870	-0,020	0,990	-0,180	0,603	0,990	-0,040	-0,150
K ₂ O							1	0,920	0,084	1	-0,120	0,683	0,990	0,055	-0,060
MnO								1	0,129	0,900	-0,080	0,880	0,910	0,102	0,036
TiO ₂									1	0,037	0,790	0,031	0,014	0,930	0,930
Ba										1	-0,140	0,648	1	0,017	-0,110
Cr											1	-0,17	-0,17	0,910	0,800
Ni												1	0,670	-0,04	-0,010
Sr													1	-0,01	-0,120
V														1	0,870
Zr															1

Cálculos estatísticos para as análises químicas das águas dos poços tubulares da Sabesp de Urânia.
(13 amostras)

	Ba ²⁺	Br ⁻	Ca ²⁺	Cl ⁻	Cr t	Cr ⁶⁺	F ⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₃ -N	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Sr ²⁺	Zn ²⁺	pH	Eh	O ₂	C.E.	HCO ₃ ⁻
Ba ²⁺	1	-0,1	0,67	0,21	-0,20	-0,20	-0,20	0,26	0,60	-0,50	0,63	0,63	-0,10	-0,40	0,70	-0	-0,40	0,2	0,38	0,60	0,39
Br ⁻		1	-0,50	-0,30	-0,30	-0,20	0,42	0,29	-0,70	0,51	-0,50	-0,50	-0,70	-0,10	-0,40	0,19	0,24	-0,40	-0,40	-0,60	-0,30
Ca ²⁺			1	0,17	-0,10	-0,10	-0,70	0,11	0,90	-0,60	0,52	0,52	0,23	-0,10	0,90	-0,20	-0,30	0,20	0,42	0,90	0,80
Cl ⁻				1	-0,40	-0,50	0,31	0,11	0,34	-0,70	0,70	0,70	0,66	0,59	0,08	0,47	-0,80	0,49	0,24	0,19	-0,30
Cr t					1	1	-0,20	-0,20	0,05	0,32	-0,10	-0,10	0,08	-0,30	0,18	-0,30	0,24	-0	-0,10	0,05	0,29
Cr ⁶⁺						1	-0,20	-0,30	-0	0,31	-0,20	-0,20	-0,20	-0,40	0,13	-0,30	0,28	-0	-0,10	-0,10	0,26
F ⁻							1	-0,30	-0,60	0,21	-0,10	-0,10	-0,10	0,31	-0,60	0,14	-0,20	-0,20	0,11	-0,70	-0,80
K ⁺								1	-0	-0	0,18	0,18	-0,10	-0,10	0,09	0,38	-0,20	0,34	-0,60	0,16	0,24
Mg ²⁺									1	-1	0,63	0,63	0,45	-0,20	0,80	0,02	-0,50	0,37	0,52	0,90	0,60
Na ⁺										1	-0,60	-0,60	-0,40	-0,10	-0,40	-0,40	0,70	-0,70	-0,40	-0,50	-0,10
NO ₃ ⁻											1	1	0,65	0,18	0,56	0,12	-0,60	0,45	0,39	0,68	0,17
N (NO ₃)												1	0,65	0,18	0,56	0,12	-0,60	0,45	0,39	0,68	0,17
PO ₄ ³⁻													1	0,56	0,21	0,12	-0,40	0,35	0,29	0,45	-0
SO ₄ ²⁻														1	-0,30	-0,10	-0,40	0,01	0,04	-0,10	-0,30
Sr ²⁺															1	-0,20	-0,30	0,06	0,47	0,90	0,80
Zn ²⁺																1	-0,30	0,66	-0,40	-0,30	-0,40
pH																	1	-0,40	-0,30	-0,30	-0
Eh																		1	-0,30	0,14	-0
O ₂																			1	0,46	0,16
C.E.																				1	0,80
HCO ₃ ⁻																					1

Cálculos estatísticos para as análises químicas das águas dos poços tubulares particulares de Urânia.
(23 amostras)

	Ba ²⁺	Br ⁻	Ca ²⁺	Cl ⁻	Cr t	Cr ⁶⁺	F ⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻ -N	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Sr ²⁺	Zn ²⁺	pH	Eh	O ₂	C.E.	HCO ₃ ⁻
Ba ²⁺	1	-0,20	0,24	0,31	-0,30	-0,60	0,13	0,70	0,37	0,10	0,48	0,48	-0,20	0,09	0,22	0,05	0,03	0,13	0,15	0,60	-0
Br ⁻		1	-0,20	-0	-0,10	0,19	0,46	-0,20	-0	0,14	-0,10	-0,10	-0,60	0,08	-0,10	-0,10	-0,10	-0,40	-0,10	-0,10	-0,10
Ca ²⁺			1	-0,20	0,29	0,15	-0	-0	0,80	-0,50	-0,20	-0,20	-0,10	-0,20	0,80	-0	0,48	0,21	0,09	0,80	0,90
Cl ⁻				1	-0,40	-0,60	-0,20	-0	-0,10	0,90	0,80	0,80	0,04	0,90	-0,20	-0,20	-1	-0,10	-0,50	0,35	-0,60
Cr t					1	0,80	-0,20	-0,30	-0	-0,40	-0,50	-0,50	0,32	-0,40	0,20	-0,30	0,41	0,30	0,30	-0,10	0,41
Cr ⁶⁺						1	-0	-0,50	-0,10	-0,50	-1	-1	0,23	-0,50	0,02	-0,20	0,46	0,02	0,17	-0,40	0,41
F ⁻							1	0,14	0,24	-0,30	0,03	0,02	-0,20	-0,20	0,09	0,28	0,21	-0,50	0,28	0,03	0,01
K ⁺								1	0,17	-0,10	0,29	0,29	-0,10	-0,30	0,04	0,23	0,05	0,09	0,25	0,22	-0,10
Mg ²⁺									1	-0,40	0,04	0,04	-0,20	-0,20	0,70	0,19	0,36	-0,10	-0,10	0,80	0,70
Na ⁺										1	0,63	0,63	-0,10	0,90	-0,40	-0,20	-1	-0,20	-0,60	0,04	-1
NO ₃											1	1	0,17	0,58	-0,10	0,29	-0,60	-0	-0,40	0,37	-0,60
N (NO ₃)												1	0,17	0,58	-0,10	0,29	-0,60	-0	-0,40	0,37	-0,60
PO ₄ ³⁻													1	-0,10	-0,10	0,04	-0	0,21	0,07	-0,10	-0,10
SO ₄ ²⁻														1	-0,10	-0,20	-1	-0,20	-0,40	0,23	-0,50
Sr ²⁺															1	-0	0,26	0,11	0,34	0,70	0,70
Zn ²⁺																1	0,13	-0	-0,10	0,03	-0,10
pH																	1	0,27	0,38	0,02	0,70
Eh																		1	0,08	0,03	0,20
O ₂																			1	-0,20	0,24
C.E.																				1	0,45
HCO ₃ ⁻																					1

Cálculos estatísticos para as análises químicas das águas dos poços cacimbas de Urânia.

(33 amostras)

	Ba ²⁺	Br ⁻	Ca ²⁺	Cl ⁻	Cr t	Cr ⁶⁺	F ⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₃ -N	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Sr ²⁺	Zn ²⁺	pH	Eh	O ₂	C.E.	HCO ₃ ⁻
Ba ²⁺	1	-0,10	0,60	0,54	-0,10	-0	0,37	0,08	0,70	0,28	0,80	0,80	-0	-0,60	0,40	-0,10	-0,20	-0	0,10	0,70	-0,10
Br ⁻		1	-0,20	-0,30	-0,30	-0,10	-0,20	0,13	0,07	-0,20	-0,20	-0,20	-0,30	0,47	-0,10	-0,10	-0,10	0,20	-0,10	-0,20	0,08
Ca ²⁺			1	0,59	0,06	-0,20	0,31	0,01	0,70	0,23	0,80	0,80	0,13	0,01	0,70	0,04	0,23	-0,20	-0,10	0,80	0,36
Cl ⁻				1	-0,20	-0,40	0,60	-0,20	0,63	0,80	0,80	0,80	0,51	-0	0,27	-0,10	-0,40	-0,20	-0,20	0,90	-0,20
Cr t					1	0,38	-0,10	0,29	-0,10	-0,30	-0	-0	0,20	-0,20	0,14	0,30	0,09	-0,20	0,52	-0,10	0,04
Cr ⁶⁺						1	-0,30	-0,10	-0,20	-0,40	-0,30	-0,30	-0,10	-0,30	-0,30	-0,10	0,06	0,22	0,28	-0,40	-0,30
F ⁻							1	-0,20	0,41	0,53	0,50	0,50	-0	-0,20	0,11	0,16	-0,30	0,04	-0,30	0,56	-0,30
K ⁺								1	0,19	-0,10	0,08	0,08	-0,20	0,21	0,03	0,09	0,15	-0,10	-0,10	0,03	0,45
Mg ²⁺									1	0,30	0,80	0,80	0,01	0,22	0,48	-0,20	-0,20	-0	-0,20	0,80	0,01
Na ⁺										1	0,54	0,54	0,25	-0,10	0,02	-0,20	-0,30	-0,40	-0,30	0,70	-0,10
NO ₃ ⁻											1	1	0,26	-0	0,51	-0,10	-0,10	-0,20	-0,10	1	0,03
N (NO ₃)												1	0,26	-0	0,51	-0,10	-0,10	-0,20	-0,10	1	0,03
PO ₄ ³⁻													1	0,12	0,01	-0,10	-0,10	-0,10	0,17	0,26	-0,10
SO ₄ ²⁻														1	0,15	-0,10	-0,10	0,14	-0,30	0	0,16
Sr ²⁺															1	0,03	0,25	-0,20	0,17	0,48	0,29
Zn ²⁺																1	0,24	-0	0,02	-0,10	0,13
pH																	1	-0,20	0,10	-0,10	0,80
Eh																		1	-0	-0,30	-0,30
O ₂																			1	-0,20	-0,10
C.E.																				1	0,07
HCO ₃ ⁻																					1

Anexo 7

Resultados da análise mineralógica de solos, sedimentos e rochas por Difração de Raios X e alguns difratogramas

Análises de solos, sedimentos e rochas por Difração de Raios X

Amostras	Frações	Separação das frações	Local de coleta	Material	Mineralogia
A2-0,4-T	total	nenhuma	ZOC, furo 2, a 0,4 m de profundidade	solo	quartzo e grupo da caulinita
A2-1,0-T	total	nenhuma	ZOC, furo 2, a 1,0 m de profundidade	solo	quartzo e grupo da caulinita
A2-2,0-T	total	nenhuma	ZOC, furo 2, a 2,0 m de profundidade	solo	quartzo e grupo da caulinita
A2-2,5-T	total	nenhuma	ZOC, furo 2, a 2,5 m de profundidade	solo	quartzo e grupo da caulinita
A4-0,4-T	total	nenhuma	ZOC, furo 4, a 0,4 m de profundidade	solo	quartzo e grupo da caulinita
A4-1,0-T	total	nenhuma	ZOC, furo 4, a 1,0 m de profundidade	solo	quartzo e grupo da caulinita
A4-2,0-T	total	nenhuma	ZOC, furo 4, a 2,0 m de profundidade	solo	quartzo e grupo da caulinita
A8-0,4-T	total	nenhuma	ZOC, furo 8, a 0,4 m de profundidade	solo	quartzo e grupo da caulinita
A8-1,0-T	total	nenhuma	ZOC, furo 8, a 1,0 m de profundidade	solo	quartzo e grupo da caulinita
A8-2,0-T	total	nenhuma	ZOC, furo 8, a 2,0 m de profundidade	solo	quartzo e grupo da caulinita
A4-M-T	total	nenhuma	Próximo ao PP 09, a 0,2 m de profundidade	solo	quartzo, goetita
A1-T	total	nenhuma	ZOC (A2-0,4; A2-1,0; A2-2,0; A2-2,5)	solo	quartzo e grupo da caulinita
A2-T	total	nenhuma	ZOC (A5-1,0; A6-1,0; A7-1,0)	solo	quartzo e grupo da caulinita
PC-0,4-T	total	nenhuma	Poço cacimba a 0,4 m de profundidade	solo	quartzo e grupo da caulinita
PC-1,0-T	total	nenhuma	Poço cacimba a 1,0 m de profundidade	solo	quartzo e grupo da caulinita
PC-2,0-T	total	nenhuma	Poço cacimba a 2,0 m de profundidade	solo	quartzo e grupo da caulinita
PC-3,0-T	total	nenhuma	Poço cacimba a 3,0 m de profundidade	solo	quartzo e grupo da caulinita
PC-4,0-T	total	nenhuma	Poço cacimba a 4,0 m de profundidade	solo	quartzo e grupo da caulinita
PC-5,0-T	total	nenhuma	Poço cacimba a 5,0 m de profundidade	manto intemp.	quartzo e grupo da caulinita
PC-6,0-T	total	nenhuma	Poço cacimba a 6,0 m de profundidade	manto intemp	quartzo e grupo da caulinita
PC-7,0-T	total	nenhuma	Poço cacimba a 7,0 m de profundidade	manto intemp	quartzo, grupo da caulinita, grupo do feldspato
PC-7,2-T	total	nenhuma	Poço cacimba a 7,2 m de profundidade	arenit+lítico	quartzo, grupo da caulinita
PC-8,0-T	total	nenhuma	Poço cacimba a 8,0 m de profundidade	manto intemp	quartzo, grupo da caulinita
PC-9,0-T	total	nenhuma	Poço cacimba a 9,0 m de profundidade	manto intemp	quartzo e grupo do feldspato
PC-9,5-T	total	nenhuma	Poço cacimba a 9,5 m de profundidade	manto intemp	quartzo, grupo da caulinita, grupo do feldspato
PC-10,5	total	nenhuma	Poço cacimba a 10,5 m de profundidade	sedimento	quartzo, grupo do feldspato
PC-11,5	total	nenhuma	Poço cacimba a 11,5 m de profundidade	sedimento	quartzo, hematita
PP-70-T	total	nenhuma	Poço tubular PP 09, a 70 m de profundidade	basalto	grupo do feldspato, hematita, mineral com 14 Å
PP-90-T	total	nenhuma	Poço tubular PP 09, a 90 m de profundidade	basalto	grupo do feldspato, hematita, mineral com 14 Å
PP-110-T	total	nenhuma	Poço tubular PP 09, a 110 m de profundidade	basalto	grupo do feldspato, hematita, mineral com 14 Å
PP-130-T	total	nenhuma	Poço tubular PP 09, a 130 m de profundidade	basalto	grupo do feldspato, hematita, mineral com 14 Å
PP-150-T	total	nenhuma	Poço tubular PP 09, a 150 m de profundidade	basalto	grupo do feldspato, mineral com 14 Å

Amostras	Frações	Separação das frações	Local de coleta	Material	Mineralogia
PP-170-T	total	nenhuma	Poço tubular PP 09, a 170 m de profundidade	basalto	grupo do feldspato, mineral com 14 Å
PP-190-T	total	nenhuma	Poço tubular PP 09, a 190 m de profundidade	basalto	grupo do feldspato, mineral com 14 Å
PP-210-T	total	nenhuma	Poço tubular PP 09, a 210 m de profundidade	basalto	grupo do feldspato, ilmenita, mineral com 14 Å
PP-230-T	total	nenhuma	Poço tubular PP 09, a 230 m de profundidade	basalto	grupo do feldspato, ilmenita, mineral com 14 Å
PP-250-T	total	nenhuma	Poço tubular PP 09, a 250 m de profundidade	basalto	grupo do feldspato, mineral com 14 Å
PP-270-T	total	nenhuma	Poço tubular PP 09, a 270 m de profundidade	basalto	grupo do feldspato, mineral com 14 Å
A2-0,4-AG	argila	separação granulométrica	ZOC, furo 2, a 0,4 m de profundidade	solo	grupo da caulinita, ilita
A2-1,0-AG	argila	separação granulométrica	ZOC, furo 2, a 1,0 m de profundidade	solo	grupo da caulinita
A2-2,0-AG	argila	separação granulométrica	ZOC, furo 2, a 2,0 m de profundidade	solo	grupo da caulinita, ilita
A2-2,5-AG	argila	separação granulométrica	ZOC, furo 2, a 2,5 m de profundidade	solo	grupo da caulinita
A4-0,4-AG	argila	separação granulométrica	ZOC, furo 4, a 0,4 m de profundidade	solo	grupo da caulinita
A4-1,0-AG	argila	separação granulométrica	ZOC, furo 4, a 1,0 m de profundidade	solo	grupo da caulinita
A4-2,0-AG	argila	separação granulométrica	ZOC, furo 4, a 2,0 m de profundidade	solo	grupo da caulinita
A8-0,4-AG	argila	separação granulométrica	ZOC, furo 8, a 0,4 m de profundidade	solo	grupo da caulinita
A8-1,0-AG	argila	separação granulométrica	ZOC, furo 8, a 1,0 m de profundidade	solo	grupo da caulinita
A8-2,0-AG	argila	separação granulométrica	ZOC, furo 8, a 2,0 m de profundidade	solo	grupo da caulinita
A4-M-AG	argila	separação granulométrica	Próximo ao PP 09, a 0,2 m de profundidade	solo	grupo da caulinita, muscovita
A6-M-AG	argila	separação granulométrica	Próximo ao PP 05, a 0,2 m de profundidade	solo	grupo da caulinita, ilita
A4-M-P-FG	minerais não-magnéticos, fração grossa	peneiramento via seca	Próximo ao PP 09, a 0,2 m de profundidade	solo	hematita, goetita, quartzo, braunita
A4-M-P-FF	minerais não-magnéticos, fração fina	peneiramento via seca	Próximo ao PP 09, a 0,2 m de profundidade	solo	hematita, goetita, quartzo, grupo do feldspato
A4-M-P-P	minerais não-magnéticos, fração do prato	peneiramento via seca	Próximo ao PP 09, a 0,2 m de profundidade	solo	quartzo, grupo do feldspato
A4-M-PM-FG	minerais magnéticos, fração grossa	peneiramento via seca	Próximo ao PP 09, a 0,2 m de profundidade	solo	magnetita, ilmenita, hematita
A4-M-PM-FF	minerais magnéticos, fração grossa	peneiramento via seca	Próximo ao PP 09, a 0,2 m de profundidade	solo	magnetita, ilmenita, hematita
A4-M-PM-P	minerais magnéticos, fração do prato	peneiramento via seca	Próximo ao PP 09, a 0,2 m de profundidade	solo	magnetita, ilmenita, hematita
A1-F	fração fina	peneiramento via úmida	ZOC (A2-0,4; A2-1,0; A2-2,0; A2-2,5)	solo	quartzo, grupo da caulinita, dolomita, gipso, hematita
A1-FL	fração grossa, flutuado	peneiramento via úmida	ZOC (A2-0,4; A2-1,0; A2-2,0; A2-2,5)	solo	quartzo
A1-A	fração grossa, afundado	peneiramento via úmida	ZOC (A2-0,4; A2-1,0; A2-2,0; A2-2,5)	solo	rutilo, magnetita, hematita, quartzo
A2-F	fração fina	peneiramento via úmida	ZOC (A5-1,0; A6-1,0; A7-1,0)	solo	quartzo, grupo da caulinita, hematita
A2-FL	fração grossa, flutuado	peneiramento via úmida	ZOC (A5-1,0; A6-1,0; A7-1,0)	solo	quartzo
A2-A	fração grossa, afundado	peneiramento via úmida	ZOC (A5-1,0; A6-1,0; A7-1,0)	solo	quartzo, hematita, magnetita, ilmenita, gpo. do feldsp.
PC-1,0-F	fração fina	peneiramento via úmida	Poço cacimba a 1,0 m de profundidade	solo	quartzo, grupo da caulinita, goetita
PC-1,0-FL	fração grossa, flutuado	peneiramento via úmida	Poço cacimba a 1,0 m de profundidade	solo	quartzo, grupo do feldspato
PC-1,0-A	fração grossa, afundado	peneiramento via úmida	Poço cacimba a 1,0 m de profundidade	solo	ilmenita, rutilo, magnetita, zircão, hematita

Amostras	Frações	Separação das frações	Local de coleta	Material	Mineralogia
PC-6,0-F	fração fina	peneiramento via úmida	Poço cacimba a 6,0 m de profundidade	manto intemp	grupo da caulinita, quartzo, hematita
PC-6,0-FL	fração grossa, flutuado	peneiramento via úmida	Poço cacimba a 6,0 m de profundidade	manto intemp	quartzo
PC-6,0-A	fração grossa, afundado	peneiramento via úmida	Poço cacimba a 6,0 m de profundidade	manto intemp	quartzo, ilmenorutilo, hematita
PC-9,5-F	fração fina	peneiramento via úmida	Poço cacimba a 9,5 m de profundidade	manto intemp	quartzo, mineral com 14 Å
PC-9,5-FL	fração grossa, flutuado	peneiramento via úmida	Poço cacimba a 9,5 m de profundidade	manto intemp	quartzo
PC-9,5-A	fração grossa, afundado	peneiramento via úmida	Poço cacimba a 9,5 m de profundidade	manto intemp	quartzo, hematita, rutilo, goetita, magnesita, Zncromita

Amostra A1:solo da ZOC (T: fração total; F: fração fina < 635 mesh)

A1-T

A1-F

Amostra A1: solo da ZOC (FL: fração grossa-flutuado > 635 mesh; A: fração grossa-afundado > 635 mesh)

A1-FL

A1-FL - File: A1fl.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 65.000 ° - Step: 0.050 ° - Step time: 1.0 s - Temp.: 27.0 °C - Time Started: 16 s - 2-Theta: 3.000 ° - Theta: 1.500 ° - Phi: 0.000 °
Operations: Import
33-1161 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 50.00 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54056

A1-A

A1A - File: A1a.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 65.000 ° - Step: 0.050 ° - Step time: 1.0 s - Temp.: 27.0 °C - Time Started: 18 s - 2-Theta: 3.000 ° - Theta: 1.500 ° - Phi: 0.000 °
Operations: Import
33-1161 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 50.00 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54056
21-1278 (*) - Rutile, syn - TiO₂ - Y: 50.00 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54056
19-0629 (*) - Magnetite, syn - FeFe₂O₄ - Y: 50.00 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54056
33-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 50.00 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54056

Amostra A2: solo da ZOC (F: fração fina < 635 mesh; A: fração grossa-afundado > 635 mesh)

A2-F

A2-A

Amostra PC-1,0: solo do poço cacimba (F: fração fina < 635 mesh; A: fração grossa-afundado > 635 mesh)

PC-1,0-F

PC-1,0-A

Amostra PC-6,0: manto de intemperismo do poço cacimba (F: fração fina < 635 mesh; A: fração grossa-afundado > 635 mesh)

PC-6,0-F

PC-6,0-A

Amostra PC-9,5: manto de intemperismo do poço cacimba (A: fração grossa-afundado > 635 mesh)
 Amostra PP-230: basalto coletado a 230 m de profundidade (T: fração total)

PC-9,5-A

PP-230-T

Anexo 8

Minerais cromíferos detectados através do MEV

Minerais portadores de cromo, detectados através do MEV

% A: porcentagem atômica; % E: porcentagem do elemento: * menor do que sigma

% A: porcentagem atômica; % E: porcentagem do elemento: * menor do que sigma																						
Minerais	Amostras	Frações e tipos de separação	Local de coleta	%	O	Al	Si	K	Ti	Cr	Fe	P	Ca	V	S	Mg	Mn	Cl	Sr	Ba		
1	A4-M-P-FG	Min.pesados, não magn., f. grossa Peneiramento via seca	Próximo ao PP 09, a 0,2 m de profundidade	% A 67,07	4,32	1,20	0,03	0,04	2,72	24,08	0,20	0,09	0,26									
2 (ponto 1)	A4-M-P-FG	Min.pesados, não magn., f. grossa Peneiramento via seca	Próximo ao PP 09, a 0,2 m de profundidade	% E 39,23	4,26	1,24	0,04*	0,06*	5,16	49,16	0,23	0,13	0,49									
2 (ponto 2)	A4-M-P-FG	Min.pesados, não magn., f. grossa Peneiramento via seca	Próximo ao PP 09, a 0,2 m de profundidade	% A 29,93	6,87			3,43	29,28	24,00			0,24			6,25						
				% E 12,42	4,81			4,26	39,49	34,76			0,31			3,94						
3 (ponto 1)	A4-M-PM-FG	Min.pesados, magn., f. grossa Peneiramento via seca	Próximo ao PP 09, a 0,2 m de profundidade	% A 60,65	6,91			2,38	11,53	10,85			0,07			7,61						
				% E 36,41	7,00			4,27	22,50	22,75			0,13			6,94						
3 (ponto 2)	A4-M-PM-FG	Min.pesados, magn., f. grossa Peneiramento via seca	Próximo ao PP 09, a 0,2 m de profundidade	% A 75,15	0,55			0,71	0,15	23,10			0,33									
				% E 46,85	0,58			1,33	0,29	50,28			0,66									
4 (ponto 1)	A4-M-PM-FG	Min.pesados, magnéticos, f. grossa Peneiramento via seca	Próximo ao PP 09, a 0,2 m de profundidade	% A 75,68	0,27			11,14		10,45			0,28			1,97	0,20					
				% E 50,26	0,31			22,16		24,23			0,59			1,99	0,46					
4 (ponto 2)	A4-M-PM-FG	Min.pesados, magnéticos, f. grossa Peneiramento via seca	Próximo ao PP 09, a 0,2 m de profundidade	% A 74,70				3,97	0,37	20,44			0,52									
				% E 46,46				7,40	0,74	44,37			1,04									
5	A1-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	ZOC (A2-0,4; A2-1,0; A2-2,0; A2-2,5)	% A 83,85				8,19	0,08	7,42			0,15				0,32					
				% E 61,62				18,02	0,18	19,03			0,35				0,81					
6	A1-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	ZOC (A2-0,4; A2-1,0; A2-2,0; A2-2,5)	% A 59,68	3,83			2,71	9,84	17,89						6,04						
				% E 33,55	3,63			4,56	17,98	35,11						5,16						
7 (ponto 1)	A1-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	ZOC (A2-0,4; A2-1,0; A2-2,0; A2-2,5)	% A 59,46	7,01			1,07	14,89	13,79						3,79						
				% E 33,64	6,68			1,81	27,38	27,24						3,26						
7 (ponto 2)	A1-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	ZOC (A2-0,4; A2-1,0; A2-2,0; A2-2,5)	% A 58,61	3,61			0,84	15,72	8,03						12,83	0,36					
				% E 35,08	3,64			1,50	30,59	16,78						11,67	0,75					
8 (ponto 1)	A1-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	ZOC (A2-0,4; A2-1,0; A2-2,0; A2-2,5)	% A 61,79	2,20	0,02*	0,59	5,06	7,05	17,08		0,38				3,73	0,36		0,50	1,37		
				% E 33,10	1,99	0,02*	0,45	8,12	12,27	31,93		0,52				3,03	0,67		1,46	6,30		
8 (ponto 2)	A1-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	ZOC (A2-0,4; A2-1,0; A2-2,0; A2-2,5)	% A 58,99	3,42			2,20	15,53	14,92						4,53	0,40					
				% E 32,38	3,17			3,62	27,71	28,59						3,78	0,75					
9	A1-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	ZOC (A2-0,4; A2-1,0; A2-2,0; A2-2,5)	% A 60,35	0,62			3,92	4,40	27,35						2,90	0,46					
				% E 31,95	0,55			6,22	7,57	50,55						2,33	0,83					
10 (ponto 1)	A2-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	ZOC (A5-1,0; A6-1,0; A7-1,0)	% A 58,09	8,65			1,47	10,76	14,11						6,80	0,12					
				% E 33,76	8,47			2,56	20,32	28,63						6,00	0,25					
				% A 58,38	10,93			1,01	12,32	7,31						9,11	0,93					
				% E 35,94	11,35			1,87	24,64	15,72						8,52	1,97					

Minerais	Amostras	Frações e tipos de separação	Local de coleta	%	O	Al	Si	K	Ti	Cr	Fe	Ca	V	Sr	Mg	Mn	Ba
10 (ponto 2)	A2-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	ZOC (A5-1,0; A6-1,0; A7-1,0)	% A	65,56	1,82			3,81	4,33	23,82				0,59	0,07*	
				% E	36,75	1,72			6,40	7,89	46,61				0,50	0,13*	
11	A2-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	ZOC (A5-1,0; A6-1,0; A7-1,0)	% A	58,85	7,06			1,12	16,41	11,74				4,76	0,06*	
				% E	33,47	6,78			1,90	30,32	23,30				4,12	0,12*	
12	A2-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	ZOC (A5-1,0; A6-1,0; A7-1,0)	% A	59,11	5,61			1,93	12,29	14,15				6,76	0,15	
				% E	33,89	5,42			3,31	22,89	28,30				5,89	0,30	
13	A2-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	ZOC (A5-1,0; A6-1,0; A7-1,0)	% A	59,36	7,66			0,78	16,05	8,61				7,46	0,09	
				% E	35,24	7,66			1,39	30,96	17,83				6,73	0,19*	
14	A2-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	ZOC (A5-1,0; A6-1,0; A7-1,0)	% A	58,55	8,56			1,06	14,82	13,05				3,72	0,25	
				% E	33,20	8,19			1,79	27,31	25,83				3,20	0,48	
15 (ponto 1)	PC-1,0-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 1,0 m de profundidade	% A	70,27	1,22	0,27		24,23	1,27	2,46		0,27		0,02*		
				% E	44,21	1,29	0,30		45,64	2,59	5,40		0,54		0,02*		
15 (ponto 2)	PC-1,0-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 1,0 m de profundidade	% A	73,38	0,58	0,18		16,62	0,33	8,60		0,16		0,07*	0,05	
				% E	46,91	0,63	0,20		31,82	0,68	19,19		0,33		0,07*	0,17	
16	PC-1,0-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 1,0 m de profundidade	% A	61,26	11,42	0,09		0,66	10,52	8,04		0,07		7,90	0,04*	
				% E	38,95	12,24	0,10		1,27	21,73	17,85		0,14		7,63	0,09*	
17	PC-1,0-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 1,0 m de profundidade	% A	62,54	7,11	0,02*		1,31	12,45	10,83		0,05		5,56	0,14	
				% E	37,72	7,23	0,03*		2,36	24,40	22,79		0,10		5,09	0,28	
18 (ponto 1)	PC-1,0-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 1,0 m de profundidade	% A	72,36	0,79	0,36		23,13	1,02	2,03		0,27		0,01*	0,03*	
				% E	46,69	0,86	0,40		44,69	2,14	4,58		0,55		0,01*	0,07*	
18 (ponto 2)	PC-1,0-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 1,0 m de profundidade	% A	72,39	1,38	0,35		19,81	1,11	4,61		0,32			0,02*	
				% E	46,56	1,50	0,39		38,15	2,32	10,36		0,66			0,05*	
18 (ponto 3)	PC-1,0-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 1,0 m de profundidade	% A	70,16	0,97	0,26		19,95	0,88	6,90		0,29		0,23	0,38	
				% E	43,45	1,01	0,28		37,00	1,77	14,92		0,56		0,21	0,80	
18 (ponto 4)	PC-1,0-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 1,0 m de profundidade	% A	69,59	0,23	0,10		17,64	0,18	10,32		0,29		0,41	1,25	
				% E	42,08	0,23	0,10		31,93	0,35	21,77		0,56		0,37	2,60	
18 (ponto 5)	PC-1,0-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 1,0 m de profundidade	% A	62,69	1,37	0,77		27,56	1,56	5,41		0,44		0,05*	0,15	
				% E	35,86	1,32	0,78		47,20	2,91	10,81		0,80		0,04*	0,29	
19 (ponto 1)	PC-1,0-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 1,0 m de profundidade	% A	71,50	1,11	0,43		20,82	0,55	5,26		0,27			0,06	
				% E	45,34	1,18	0,48		39,54	1,14	11,64		0,55			0,13	

Minerais	Amostras	Frações e tipos de separação	Local de coleta	%	O	Al	Si	Ti	Cr	Fe	P	Ca	V	S	Mg	Mn	Cl	Cu	Ni
					% A	% E	% A	% E	% A	% E	% A	% E	% A	% E	% A	% E	% A	% E	% A
19 (ponto 2)	PC-1,0-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 1,0 m de profundidade	% A	67,05	0,02*	0,06	16,44	0,04*	11,71			0,21		0,11	4,35			
20	PC-6,0-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 6,0 m de profundidade	% E	38,72	0,02*	0,06	28,42	0,07*	23,60			0,38		0,12	8,62			
				% A	74,87	2,59	0,69	15,41	1,25	4,74	0,17		0,24		0,03*	0,02*			
21	PC-6,0-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 6,0 m de profundidade	% E	50,45	2,94	0,81	31,09	2,74	11,16	0,22		0,51		0,03*	0,02*			
				% A	65,34	6,17	0,10	0,74	12,93	8,72		0,09		5,82	0,07*				
22	PC-9,5-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 9,5 m de profundidade	% E	40,84	6,51	0,12	1,39	26,26	19,02			0,18		5,53	0,16*			
				% A	61,94	4,63	0,07*	1,44	9,38	18,18	0,04*		0,07*		4,07	0,19			
23	PC-9,5-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 9,5 m de profundidade	% E	35,35	4,45	0,07*	2,45	17,40	36,21	0,05*		0,13*		3,53	0,37			
				% A	61,70	3,66	0,08*	4,65	3,92	20,15		0,15		5,55	0,16				
24 (ponto 1)	PC-9,5-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 9,5 m de profundidade	% E	35,37	3,54	0,08*	7,97	7,30	40,32			0,27		4,83	0,32			
				% A	61,41	1,01	0,05*	3,13	4,07	26,48	0,00*		0,07*		3,49	0,29			
24 (ponto 2)	PC-9,5-A	Min.pesados, afundado, f. grossa Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 9,5 m de profundidade	% E	33,24	0,92	0,04*	5,07	7,16	50,03	0,01*		0,12*		2,87	0,54			
				% A	60,07	5,43	0,18	1,02	5,19	16,14		0,06*		11,54	0,37				
25	A2-F	Fração fina Peneiramento via úmida	ZOC ((A5-1,0; A6-1,0; A7-1,0))	% E	36,45	5,56	0,19	1,85	10,24	34,19			0,11*		10,64	0,77			
				% A	63,48	9,90	10,61	0,97	0,57	12,52		0,37		0,37	0,28	0,03*	0,89		
26	A2-F	Fração fina Peneiramento via úmida	ZOC ((A5-1,0; A6-1,0; A7-1,0))	% E	41,91	11,02	12,30	1,92	1,23	28,85		0,62		0,49	0,29	0,07*	1,30		
				% A	58,82	11,35	10,59	0,73	1,98	13,91		0,04*		1,68	0,15*	0,04*	0,71	0,01*	
27	A2-F	Fração fina Peneiramento via úmida	ZOC ((A5-1,0; A6-1,0; A7-1,0))	% E	36,96	12,03	11,68	1,37	4,05	30,50		0,06*		2,11	0,14*	0,09*	0,99	0,02*	
				% A	62,20	7,98	7,01	0,58	2,22	16,94		0,07		1,97	0,07*	0,05*	0,89	0,01*	
28	A2-F	Fração fina Peneiramento via úmida	ZOC ((A5-1,0; A6-1,0; A7-1,0))	% E	38,28	8,28	7,57	1,06	4,44	36,40		0,11		2,44	0,07*	0,12*	1,21	0,01*	
				% A	63,29	8,17	7,20	0,69	0,59	17,63		0,20		1,14	0,09*	0,01*	0,99		
29	PC-1,0-F	Fração fina Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 1,0 m de profundidade	% E	39,46	8,59	7,88	1,28	1,20	38,37		0,31		1,42	0,09*	0,03*	1,37		
				% A	51,95	7,97	13,08	0,70	4,77	18,48		0,05*		0,18	0,21	0,42		0,03*	2,16
30	PC-1,0-F	Fração fina Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 1,0 m de profundidade	% E	28,74	7,43	12,70	1,15	8,58	35,69		0,07*		0,20	0,18	0,81		0,06*	4,38
				% A	54,51	14,18	13,37	0,93	2,78	11,95		0,02*		0,27	0,31	0,31	0,08	0,04*	1,25
31	PC-1,0-F	Fração fina Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 1,0 m de profundidade	% E	33,54	11,72	14,45	1,71	5,55	25,67		0,03*		0,33	0,29	0,66	0,11	0,11*	2,82
				% A	44,87	7,83	10,47	0,55	6,55	25,47				0,15	0,09*	0,67	0,06*	0,23	3,06
32	PC-1,0-F	Fração fina Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 1,0 m de profundidade	% E	22,07	6,49	9,04	0,81	10,47	43,73				0,15	0,07*	1,13	0,06*	0,44	5,53
				% A	45,38	11,26	10,53	0,96	5,78	22,38		0,01*		0,23	0,17	0,46	0,01*	0,26	2,57
				% E	23,22	9,71	9,46	1,48	9,61	39,98		0,01*		0,24	0,14	0,80	0,01*	0,53	4,82

Minerais	Amostras	Frações e tipos de separação	Local de coleta	%	O	Al	Si	Ti	Cr	Fe	P	Ca	K	S	Mg	Mn	Cl	Cu	Ni
33	PC-1,0-F	Fração fina Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 1,0 m de profundidade	% A	52,71	14,70	14,00	0,76	2,97	12,34		0,08		0,21	0,28	0,21	0,04*	0,13	1,58
34	PC-6,0-F	Fração fina Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 6,0 m de profundidade	% E	31,90	15,01	14,88	1,38	5,85	26,06		0,12		0,26	0,26	0,43	0,05*	0,31	3,51
				% A	63,41	11,67	7,37	0,75	8,08	5,90		0,03*		0,02*	2,63	0,04*	0,02*		0,07*
				% E	42,36	13,14	8,65	1,51	17,54	13,75		0,05*		0,03*	2,67	0,09*	0,03*		0,17*
35	PC-6,0-F	Fração fina Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 6,0 m de profundidade	% A	60,76	12,17	12,49	0,79	6,36	3,01		0,05		0,10	0,26		0,03*	3,98	
				% E	39,62	13,39	14,30	1,55	13,48	6,84		0,08		0,13	0,26		0,04*	10,30	
36	PC-6,0-F	Fração fina Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 6,0 m de profundidade	% A	42,33	2,69	3,32	0,16	9,90	36,59						0,75			4,25
				% E	18,30	1,96	2,52	0,21	13,92	55,23						1,11			6,74
37	PC-6,0-F	Fração fina Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 6,0 m de profundidade	% A	41,44	2,31	2,55	0,23	10,80	37,34						0,83			4,51
				% E	17,61	1,66	1,90	0,29	14,91	55,39						1,22			7,03
38	PC-6,0-F	Fração fina Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 6,0 m de profundidade	% A	45,56	3,39	5,02	0,26	9,26	32,06						0,85			3,60
				% E	20,80	2,61	4,02	0,36	13,73	51,10						1,34			6,03
39	PC-9,5-F	Fração fina Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 9,5 m de profundidade	% A	49,19	5,26	10,30	0,35	6,25	23,82		0,17	0,31		1,25	0,66			2,44
				% E	25,23	4,55	9,27	0,54	10,42	42,65		0,21	0,39		0,97	1,16			4,60
40	PC-9,5-F	Fração fina Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 9,5 m de profundidade	% A	58,00	7,38	13,79	0,44	2,94	13,35		0,25	0,62		1,42	0,31			1,50
				% E	35,58	7,64	14,85	0,80	5,86	28,58		0,39	0,93		1,33	0,66			3,38
41	PC-9,5-F	Fração fina Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 9,5 m de profundidade	% A	47,50	4,84	8,27	0,31	7,10	26,93		0,16	0,28		0,81	0,84			2,98
				% E	23,25	3,99	7,10	0,45	11,29	46,02		0,20	0,33		0,60	1,42			5,35
42	PC-9,5-F	Fração fina Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 9,5 m de profundidade	% A	32,96	3,72	6,88	0,51	10,05	39,03		0,19	0,17		0,85	0,89			4,74
				% E	13,48	2,57	4,94	0,63	13,36	55,74		0,20	0,17		0,53	1,25			7,12
43	PC-9,5-F	Fração fina Peneiramento via úmida	Poço cacimba a 9,5 m de profundidade	% A	66,57	5,96	12,58	0,32	2,07	9,33		0,19	0,37		1,52	0,18			0,91
				% E	45,41	6,85	15,07	0,66	4,58	22,21		0,33	0,62		1,57	0,42			2,28

Anexo 9

Imagens de minerais cromíferos obtidas através do MEV (sinal de elétrons retroespalhados)

PRANCHA 1: Imagens de minerais pesados obtidas através do MEV (sinal de elétrons retroespalhados) e prováveis minerais

A-Mineral 1 (A4-M-P-FG) - HEMATITA

% Elementos- O-39,23 ; Al-4,26; Si-1,24; K-0,04*; Ti-0,06*; Cr-5,16; Fe-49,16; P-0,23; Ca-0,13; V-0,49

% Óxidos- SiO_2 - 2,65; TiO_2 - 0,10; Al_2O_3 - 8,05; Cr_2O_3 - 7,54; Fe_2O_3 - 70,28; V_2O_5 - 0,72; FeO - 63,24; CaO - 0,18; K_2O - 0,05; P_2O_5 - 0,51

B-Mineral 2 (A4-M-P-FG) - pontos 1 e 2 - CROMITA

ponto1-% Elementos- O-12,42; Al-4,81; Ti-4,26; Cr-39,49; Fe-34,76; V-0,31; Mg-3,94

% Óxidos- TiO_2 - 7,11; Al_2O_3 - 9,09; Cr_2O_3 - 57,72; Fe_2O_3 - 49,70; V_2O_5 - 0,46; FeO - 44,72; MgO - 6,53

ponto2-% Elementos- O-36,41; Al-7,00; Ti-4,27; Cr-22,50; Fe-22,75; V-0,13; Mg-6,94

% Óxidos- TiO_2 - 7,12; Al_2O_3 -13,22; Cr_2O_3 - 32,89; Fe_2O_3 - 32,53; V_2O_5 - 0,19; FeO - 29,27; MgO - 11,51

C-Mineral 3 (A4-M-PM-FG) - ponto 1 - MAGNETITA (claro) e ponto 2 - ILMENITA (escuro)

ponto 1-% Elementos- O-46,85; Al-0,58; Ti-1,33; Cr-0,29; Fe-50,28; V-0,66

% Óxidos- TiO_2 - 2,22; Al_2O_3 - 1,10; Cr_2O_3 - 0,42; Fe_2O_3 - 71,89; V_2O_5 - 0,97; FeO - 64,69

ponto 2-% Elementos- O-50,26; Al-0,31; Ti-22,16; Fe-24,23; V-0,59; Mg-1,99; Mn-0,46

% Óxidos- TiO_2 - 36,96; Al_2O_3 - 0,59; Fe_2O_3 - 34,64; V_2O_5 - 0,87; FeO - 31,17; MnO - 0,59; MgO - 3,30

D-Mineral 4 (A4-M-PM-FG) - ponto 1 - HEMATITA (claro) e ponto 2 - ILMENITA (escuro)

ponto 1-% Elementos- O-46,46; Ti-7,40; Cr-0,74; Fe-44,37; V-1,04

% Óxidos- ponto 1-(%) TiO_2 - 12,34; Cr_2O_3 - 1,08; Fe_2O_3 - 63,44; V_2O_5 - 1,53; FeO - 57,08

ponto 2-% Elementos- O-61,62; Ti-18,02; Cr-0,18; Fe-19,03; V-0,35; Mn-0,81

% Óxidos- TiO_2 - 30,06; Cr_2O_3 - 0,26; Fe_2O_3 - 27,21; V_2O_5 - 0,51; FeO - 24,48; MnO - 1,05

E-Mineral 5 (A1-A) - CROMITA

% Elementos- O-33,55; Al-3,63; Ti-4,56; Cr-17,98; Fe-35,11; Mg-5,16

% Óxidos- TiO_2 - 7,61; Al_2O_3 - 6,86; Cr_2O_3 - 26,28; Fe_2O_3 - 50,20; FeO - 45,17; MgO - 8,56

F-Mineral 6 (A1-A) - CROMITA

% Elementos- O-33,64; Al-6,68; Ti-1,81; Cr-27,38; Fe-27,24; Mg-3,26

% Óxidos- TiO_2 - 3,02; Al_2O_3 - 12,62; Cr_2O_3 - 40,02; Fe_2O_3 - 38,95; FeO - 35,04; MgO - 5,41

A

B

C

D

E

F

A

B

C

D

E

F

A

B

C

D

E

F

A

B

C

D

E

F

Anexo 10

Porcentagem de extração de manganês, ferro e cromo em cada uma das fases, considerando-se como total extraído o valor obtido da somatória de todas as extrações

Extrator/fase do solo	Amostras	Mn	Fe	Cr	Extrator/fase do solo	Amostras	Mn	Fe	Cr
$\text{KH}_2\text{PO}_4/\text{Na}_2\text{HPO}_4$ Metais adsorvidos	PP-150-T	0,1	0,1	2,2	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ Matéria orgânica	PP-150-T	0,9	2,4	3,4
	A1-T	1,1	0,7	2,4		A1-T	4,5	0,7	3,6
	A2-T	1,7	0,7	2,1		A2-T	5,1	1,1	2,7
	PC-1,0-T	1,8	0,4	2,2		PC-1,0-T	11	1,1	3,8
	PC-4,0-T (a)	0,1	0,2	1,8		PC-4,0-T (a)	0,5	0,4	2,7
	PC-4,0-T (b)	0,1	0,4	1,9		PC-4,0-T (b)	0,5	0,5	2,8
	PC-6,0-T	0,2	0,3	1,7		PC-6,0-T	0,5	0,4	2,5
	PC-7,0-T	0,4	0,7	1,4		PC-7,0-T	0,5	0,5	1,7
	PC-7,2-T	0,5	2,4	3,1		PC-7,2-T	1,2	2,8	4
	PC-9,0-T	0,3	0,5	1,8		PC-9,0-T	7,9	21	18
	PC-9,5-T (a)	2,1	4,3	26		PC-9,5-T (a)	10	27	27
	PC-9,5-T (b)	3,8	6,7	13		PC-9,5-T (b)	8,9	24	29

Extrator/fase do solo	Amostras	Mn	Fe	Cr	Extrator/fase do solo	Amostras	Mn	Fe	Cr
$\text{NH}_2\text{OH}.\text{HCl}$ Óxidos de Fe e Mn	PP-150-T	4,2	14	0,8	HNO_3 concentrado Materiais residuais	PP-150-T	13	15	8,9
	A1-T	6,7	5,3	4,6		A1-T	12	69	47
	A2-T	6,8	4,8	2,3		A2-T	15	67	44
	PC-1,0-T	20	4,8	2,7		PC-1,0-T	9,3	65	42
	PC-4,0-T (a)	1,4	3,5	2		PC-4,0-T (a)	13	68	50
	PC-4,0-T (b)	1,5	4,1	2,3		PC-4,0-T (b)	12	65	45
	PC-6,0-T	1,5	4	2,8		PC-6,0-T	9,8	61	46
	PC-7,0-T	1,9	4,5	2,7		PC-7,0-T	16	68	69
	PC-7,2-T	0	2,6	2,9		PC-7,2-T	7,1	84	76
	PC-9,0-T	1,6	3,7	2,5		PC-9,0-T	22	42	28
	PC-9,5-T (a)	3,8	4	0,1		PC-9,5-T (a)	25	42	25
	PC-9,5-T (b)	4,3	5,1	1,6		PC-9,5-T (b)	25	42	28

Extrator/fase do solo	Amostras	Mn	Fe	Cr
HNO_3/HF Minerais silicáticos de difícil dissolução	PP-150-T	81	69	85
	A1-T	76	25	42
	A2-T	71	26	49
	PC-1,0-T	58	29	49
	PC-4,0-T (a)	85	28	44
	PC-4,0-T (b)	86	30	48
	PC-6,0-T	88	34	47
	PC-7,0-T	81	27	26
	PC-7,2-T	91	8,3	14
	PC-9,0-T	68	33	50
	PC-9,5-T (a)	59	23	23
	PC-9,5-T (b)	58	22	28

Anexo 11

Classificação hidroquímica das águas dos poços tubulares da Sabesp, tubulares particulares e cacimbas (Diagrama de Piper)

Poços Tubulares Profundos SABESP
Urânia - Junho/98

Classificação de Piper para PP's, coleta Junho/98

Poços Tubulares Profundos SABESP
Urânia - Novembro/98

Classificação de Piper para PP's, coleta Novembro/98

Poços Tubulares Profundos SABESP
Urânia - Março/99

Classificação de Piper para Pp's, coleta Março/99

Poços Tubulares Profundos SABESP
Urânia - Junho/99

Classificação de Piper para PP's, coleta Junho/99

Poços Tubulares Particulares
Urânia - Novembro/98

Classificação de Piper para PT's, coleta Novembro/98

Poços Tubulares Particulares
Urânia - Março/99

Classificação de Piper para PT's, coleta Março/99

Poços Tubulares Particulares
Urânia - Junho/99

Classificação de Piper para PT's, Coleta Junho/99

Poços Cacimbas
Urânia - Novembro/98

Classificação de Piper para Pc's, coleta Novembro/98

Poços Cacimbas
Urânia - Março/99

Classificação de Piper para Pc's, coleta Março/99

Poços Cacimbas
Urânia - Junho/99

Classificação de Piper para PC's, coleta Junho/99

Anexo 12

Resultados das análises físico-químicas das águas dos poços tubulares da Sabesp,
tubulares particulares e cacimbas

Parâmetros físico-químicos analisados nas águas de poços tubulares da SABESP de Urânia (mg/L).

L.D.: limite de detecção

V.M.P.: valor máximo permitido pela legislação vigente- Portaria 36, do Ministério da Saúde, de 19-01-90 (CETESB, 1994)

N.D.: valor não detectado

L.D.	mg/L		0,55	0,18		0,02			0,02	0,00	0,025	0,05			0,003	0,02		0,04				0,05			0,05	0,008
V.M.P.	mg/L	0,05	0,2	1,0			0,005	250	0,05		1,0	0,3									10	0,05		400		5,0
Poços	Coleta	Ag ⁺	Al ³⁺	Ba ²⁺	Br	Ca ²⁺	Cd ²⁺	Cl ⁻	Cr t	Cr ⁶⁺	Cu ²⁺	Fe t	F ⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Na ⁺	Ni ²⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₃ -N	Pb ²⁺	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Sr ²⁺	Zn ²⁺
PP 01 metros	22/04/97		N.D.	0,33	0,010	11,30		1,43	N.D.		0,04		0,16	2,3	4,50	0,02	2,1	N.D.	N.D.	10,16	2,29	N.D.	N.D.	0,31	N.D.	0,21
	19/06/98	N.D.	N.D.	N.D.	0,018		0,01		N.D.	0,00	N.D.	0,11	0,17			0,02		N.D.	0,040			N.D.	0,016		N.D.	3,90
	23/11/98	N.D.	N.D.	N.D.	0,013	7,90	N.D.	7,23	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,25	16,0	3,55	N.D.	3,1	N.D.	0,030	13,48	3,04	N.D.	0,020	0,15	N.D.	2,24
	09/03/99	N.D.	N.D.	N.D.	0,015	9,45	N.D.	1,69	N.D.	0,005	N.D.	0,06	0,19	3,5	3,60	N.D.	3,0	N.D.	0,007	16,51	3,72	N.D.	0,050	0,08	0,13	0,95
	23/06/99	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9,60	N.D.	2,45	0,02	0,005	N.D.	N.D.	0,13	3,8	3,10	0,02	2,8	N.D.	N.D.	17,13	3,87	N.D.	0,100	0,07	0,13	0,04
PP 02 horas	23/06/99	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9,60	N.D.	2,03	0,02	0,01	N.D.	0,05	0,11	3,6	3,10	N.D.	2,7	N.D.	N.D.	18,31	4,13	N.D.	1,020	0,56	0,06	0,40
	22/04/97	N.D.	N.D.	0,23	0,010	73,50	N.D.	4,83	N.D.		N.D.	0,26	0,25	3,6	9,80	N.D.	4,7	N.D.	N.D.	20,04	4,53	N.D.	0,070	0,42	0,45	1,17
	19/06/98	N.D.	N.D.	N.D.	0,011	8,40	N.D.	1,24	0,08	0,07	N.D.	N.D.	0,21	2,3	1,60	N.D.	37,0	N.D.	0,020	2,86	0,65	N.D.	0,015	0,18	0,31	0,03
	24/11/98	N.D.	N.D.	N.D.	0,002	9,10	N.D.	2,45	0,06	0,06	N.D.	N.D.	0,25	1,8	2,65	N.D.	22,0	N.D.	N.D.	6,94	1,57	N.D.	0,030	0,19	0,18	0,08
	09/03/99	N.D.	N.D.	0,38	0,010	40,10	N.D.	7,11	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	0,24			N.D.		N.D.	0,040	30,43	6,87	N.D.	0,040	0,16	0,71	0,47
	13/05/99	N.D.	N.D.	0,39	0,017	29,10	N.D.	7,00	0,02	0,01	N.D.	N.D.	0,24	4,6	10,20	N.D.	5,1	N.D.	N.D.	30,47	6,88	N.D.	0,300	0,29	0,58	1,02
	18:00	N.D.	N.D.	0,36	N.D.	35,10	N.D.	7,45	0,02	0,01	N.D.	N.D.	0,17	4,4	10,60	N.D.	5,0	N.D.	N.D.	34,02	7,68	N.D.	0,120	0,13	0,55	0,64
	18:15	N.D.	N.D.	0,35	0,011	35,70	N.D.	7,01	0,02	0,01	N.D.	N.D.	0,20	4,4	10,80	N.D.	6,0	N.D.	N.D.	31,71	7,16	N.D.	0,120	0,11	0,60	0,56
	19:00	N.D.	N.D.	0,38	N.D.	31,20	N.D.	6,95	0,04	0,04	N.D.	N.D.	0,16	3,4	8,20	N.D.	11,4	N.D.	N.D.	31,99	7,22	N.D.	0,110	0,08	0,69	0,39
	24:00	N.D.	N.D.	N.D.	0,012		N.D.		0,06	0,05	N.D.	N.D.	0,13			N.D.		N.D.	N.D.	28,09	6,34	N.D.	0,050	0,37	0,63	0,24
	6:00	N.D.	N.D.	N.D.	0,013	17,50	N.D.	3,17	0,09	0,06	N.D.	N.D.	0,13	2,3	4,20	N.D.	15,4	N.D.	N.D.			N.D.	0,040		0,58	0,16
PP 03	23/06/99	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	29,60	N.D.	9,49	0,03	0,01	N.D.	0,32	0,16	4,8	9,80	N.D.	4,4	N.D.	N.D.	14,12	3,19	N.D.	0,050	0,08	0,54	0,10
	22/04/97	N.D.	N.D.	0,44	0,010	41,0	N.D.	3,65			N.D.		0,31	3,2	8,60	0,02	3,4	N.D.	N.D.	38,01	8,58	N.D.	1,490	0,91	0,51	0,82
	19/06/98	N.D.	N.D.	0,26	0,011	30,70	N.D.	3,19	0,02	0,01	N.D.	N.D.	0,11	25,0	4,35	N.D.	29,0	N.D.	0,030	27,03	6,10	N.D.	0,060	0,25	0,06	0,18
	24/11/98	N.D.	N.D.	0,29	0,007	40,20	N.D.	3,80	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	0,15	3,9	9,50	N.D.	4,7	N.D.	N.D.	23,50	5,31	N.D.	0,020	0,27	0,53	N.D.
	09/03/99	N.D.	N.D.	0,40	0,005	30,20	N.D.	4,39	0,02	0,02	N.D.	N.D.	0,20	3,9	8,90	N.D.	4,3	N.D.	N.D.	26,70	6,03	N.D.	0,020	0,27	0,54	0,02
	23/06/99	N.D.	N.D.	0,26	N.D.	22,80	N.D.	9,61	0,02	0,005	N.D.	0,10	0,27	4,6	8,60	N.D.	4,4	N.D.	N.D.	25,88	5,84	N.D.	0,130	0,12	0,63	0,01

Poços	Coleta	Ag ⁺	Al ³⁺	Ba ²⁺	Br	Ca ²⁺	Cd ²⁺	Cl ⁻	Cr t	Cr ⁶⁺	Cu ²⁺	Fe t	F ⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Na ⁺	Ni ²⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₃ -N	Pb ²⁺	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Sr ²⁺	Zn ²⁺
PP 06																										
62 m	23/06/99	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	15,50	N.D.	4,61	N.D.	0,005	N.D.	0,07	0,03	4,2	3,60	N.D.	3,1	N.D.	N.D.	35,69	8,06	N.D.	0,070	0,12	0,14	N.D.
78 m	23/06/99	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	15,50	N.D.	4,71	0,02	0,005	N.D.	N.D.	0,03	4,3	3,60	N.D.	3,2	N.D.	N.D.	35,78	8,08	N.D.	0,450	0,14	0,13	N.D.
94 m	23/06/99	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	15,50	N.D.	4,48	0,02	0,005	N.D.	N.D.	0,02	4,4	3,60	N.D.	3,3	N.D.	N.D.	35,74	8,07	N.D.	0,390	0,14	0,14	N.D.
110 m	23/06/99	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	15,70	N.D.	4,32	0,02	0,005	N.D.	N.D.	0,02	4,3	3,70	N.D.	3,1	N.D.	N.D.	35,37	7,99	N.D.	0,190	0,12	0,13	N.D.
PP 08	22/04/97	N.D.	N.D.	0,65	0,020	49,30		0,93	N.D.		N.D.	0,15	0,15	2,8	9,30	N.D.	1,4	N.D.	N.D.	16,73	3,77	N.D.	0,200	0,14	0,15	1,20
	19/06/98	N.D.	N.D.	N.D.	0,020		N.D.		N.D.	0,01	N.D.	0,27	0,17			0,26		N.D.	0,002			N.D.	0,007		0,11	0,08
metros	24/11/98	N.D.	N.D.	N.D.	0,020		N.D.		N.D.	0,00	N.D.	0,06	0,16			0,17		N.D.	N.D.			N.D.	0,040		0,06	0,04
42,85	09/03/99	N.D.	N.D.	N.D.	0,020	19,60	N.D.	1,18	N.D.	0,00	N.D.	0,44	0,21	3,7	6,00	0,17	2,3	N.D.	0,003	0,85	0,19	N.D.	0,040	0,10	0,14	0,02
94,35	09/03/99	N.D.	N.D.	N.D.	0,015	23,15	N.D.	1,31	0,02	0,02	N.D.	0,58	0,21	3,5	8,85	N.D.	1,9	N.D.	0,030	18,14	4,10	N.D.	0,040	0,18	0,20	0,04
A-75	11/05/99	N.D.	N.D.	0,19	0,002	21,40	N.D.	1,34	0,03	0,02	N.D.	N.D.	0,16	3,7	8,80	N.D.	2,0	N.D.	N.D.	19,05	4,30	N.D.	0,170	0,23	0,19	0,02
A-97	11/05/99	N.D.	N.D.	0,21	0,004	21,80	N.D.	1,17	0,02	0,01	N.D.	0,32	0,11	3,5	8,90	N.D.	1,9	N.D.	N.D.	20,18	4,56	N.D.	0,110	0,12	0,19	0,04
A-115	12/05/99	N.D.	N.D.	0,21	0,020	21,80	N.D.	1,14	0,01	0,01	N.D.	0,45	0,11	3,5	8,90	N.D.	1,9	N.D.	N.D.	20,10	4,54	N.D.	0,090	0,12	0,19	0,05
A-130	12/05/99	N.D.	N.D.	0,21	0,015	21,30	N.D.	1,02	0,02	0,01	N.D.	1,38	0,11	3,4	8,90	0,02	1,8	N.D.	N.D.	17,71	4,00	N.D.	0,050	0,12	0,19	0,09
B-75	13/05/99	N.D.	N.D.	0,23	0,008		N.D.		0,02	0,02	N.D.	N.D.	0,13			N.D.		N.D.	N.D.			N.D.	0,080		0,19	N.D.
B-97	13/05/99	N.D.	N.D.	0,21	0,013	21,90	N.D.	1,12	0,02	0,02	N.D.	N.D.	0,09	3,3	8,90	N.D.	1,8	N.D.	N.D.	19,85	4,48	N.D.	0,060	0,08	0,19	0,01
B-115	13/05/99	N.D.	N.D.	0,23	0,011		N.D.		0,01	0,01	N.D.	N.D.	0,08			N.D.		N.D.	N.D.			N.D.	0,040		0,19	0,02
B-130	13/05/99	N.D.	N.D.	0,21	0,009	21,80	N.D.	1,18	0,02	0,02	N.D.	0,81	0,10	3,4	9,00	0,02	1,9	N.D.	N.D.	18,98	4,51	N.D.	0,040	0,21	0,19	0,05
75	22/06/99	N.D.	N.D.	0,24	N.D.		N.D.		0,02	0,01	N.D.	N.D.	0,11			N.D.		N.D.	N.D.			N.D.	0,100		0,20	N.D.
97	22/06/99	N.D.	N.D.	0,20	N.D.	24,10	N.D.	1,28	0,02	0,005	N.D.	0,11	0,10	3,6	8,30	N.D.	1,9	N.D.	N.D.	16,69	3,77	N.D.	0,110	0,13	0,20	N.D.
115	22/06/99	N.D.	N.D.	0,21	N.D.	23,80	N.D.	1,41	0,03	0,00	N.D.	1,69	0,11	3,6	8,40	N.D.	1,9	N.D.	N.D.	16,69	3,77	N.D.	0,120	0,09	0,20	N.D.
130	22/06/99	N.D.	N.D.	0,23	N.D.		N.D.		0,02	0,005	N.D.	2,00	0,09			N.D.		N.D.	N.D.			N.D.	0,190		0,19	N.D.

Poços	Coleta	T ar (°C)	T água (°C)	pH	Eh (mV)	O ₂ (mg/L)	C.E. (μS/cm)	OH (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)
PP 01 metros	19/06/98	25,6	25,9	6,76	517	0,48	118,3	0	0	67,10
	23/11/98	32,4	28,9	7,04	539	0,01	114,2	0	0	47,21
	46,80	09/03/99	36,1	35,9	6,55	497	5,10	144,0	0	45,75
	106,50	09/03/99	36,9	36,1	6,52	509	6,66	103,0	0	45,75
	46,80	23/06/99	22,9	23,0	6,43	540	5,30	100,9	0	39,65
	106,50	23/06/99	23,0	23,1	6,37	524	5,80	105,8	0	42,70
PP 02 horas	19/06/98	27,0	25,2	8,46	464	0,65	149,8	0	6,00	118,95
	24/11/98	29,3	26,9	8,07	502	2,92	159,9	0	0	112,85
	09/03/99	29,0	28,5	6,98	478	4,50	248,0	0	0	125,05
	18:00	13/05/99	25,0	6,76	457	4,29	276,0	0	0	152,50
	18:15	13/05/99	24,6	6,85	460	4,05	261,0	0	0	134,20
	19:00	13/05/99	24,5	6,92	464	4,00	281,0	0	0	152,50
	24:00	13/05/99	16,0	7,24	476	4,90	285,0	0	0	179,95
	6:00	14/05/99	21,5	7,28	528	4,40	256,0	0	0	131,15
	12:00	14/05/99	25,0	7,27	463	3,70	226,0	0	0	143,35
	18:00	14/05/99	24,0	7,23	462	3,40	220,0	0	0	112,85
	23/06/99	25,3	25,7	6,68	508	3,50	275,0	0	0	118,95
	19/06/98	27,5	25,3	7,64	478	0,73	291,0	0	0	201,30
	24/11/98	29,9	28,1	7,77	491	3,60	288,0	0	0	179,95
PP 03	09/03/99	29,5	28,0	7,11	475	5,06	249,0	0	0	128,10
	23/06/99	24,6	25,7	6,66	508	3,70	272,0	0	0	88,45
PP 04 horas	19/06/98	27	25,5	8,78	452	0,64	158,7	0	9,00	146,40
	24/11/98	29,2	26,8	8,72	505	3,47	158,3	0	9,00	109,80
	09:10	09/03/99	28,8	27,5	7,87	443	3,02	265,0	0	213,50
	15:00	09/03/99	34,0	29,3	8,54	445	3,70	138,0	0	18,00
	18:10	13/05/99	24,1	7,57	453	3,70	301,0	0	0	192,15
	18:25	13/05/99	24,1	7,76	452	3,00	290,0	0	0	176,90
	19:10	13/05/99	25,0	7,69	457	2,60	279,0	0	0	210,45
	24:10	14/05/99	16,0	8,32	502	4,30	161,0	0	12,00	88,45
	6:10	14/05/99	21,1	8,37	476	3,40	159,0	0	9,00	88,45
	12:10	14/05/99	25,0	8,49	440	2,90	190,0	0	9,00	100,65
	18:10	14/05/99	26,4	8,53	437	3,10	160,0	0	12,00	82,35
	23/06/99	23,8	23,8	7,65	491	3,30	309,0	0	0	210,45

Poços	Coleta	T ar (°C)	T água (°C)	pH	Eh (mV)	O ₂ (mg/L)	C.E. (μS/cm)	OH (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	
PP 05 horas	19/06/98	26,5	24,8	9,16	460	0,61	147,9	0	12,00	112,85	
	10/03/99	35,4	34,7	9,13	427	3,87	157,0	0	18,00	73,20	
	17:25	23/06/99	22,3	22,2	9,01	440	4,10	160,0	0	15,00	70,15
	17:45	23/06/99	22,2	22,1	9,10	442	3,20	163,0	0	21,00	54,90
	18:15	23/06/99	22,0	22,1	8,88	465	3,60	122,0	0	21,00	73,20
	19:15	23/06/99	21,6	21,5	8,90	443	3,50	159,4	0	15,00	70,15
PP 06 metros	19/06/98	26,2	25,6	8,92	487	0,62	137,1	0	9,00	76,25	
	23/11/98	34,2	29,3	6,38	451	3,29	136,2	0	0	85,40	
	39,10	09/03/99	34,2	33,1	7,69	427	2,34	133,0	0	0	73,20
	101,05	09/03/99	35,2	35,0	5,93	449	4,56	134,0	0	0	39,65
	A-62	12/05/99		26,0	6,11	454	3,08	154,0	0	0	36,60
	A-78	12/05/99		26,0	6,05	432	4,12	153,0	0	0	42,70
	A-94	12/05/99		26,0	6,02	437	4,58	153,0	0	0	42,70
	A-110	12/05/99		25,7	6,06	434	4,43	155,0	0	0	48,80
	B-62	13/05/99		26,7	6,00	474	4,86	156,0	0	0	45,75
	B-78	13/05/99		26,4	5,96	460	3,51	154,0	0	0	39,65
	B-94	13/05/99		26,0	6,01	455	3,53	164,0	0	0	36,60
	B-110	13/05/99		25,8	6,64	467	4,38	155,0	0	0	39,65
	62	23/06/99	17,6	19,2	6,17	482	4,60	156,0	0	0	45,75
	78	23/06/99	18,1	18,4	6,16	477	5,40	154,9	0	0	48,80
	94	23/06/99	21,3	21,4	5,96	475	5,80	155,0	0	0	45,75
	110	23/06/99	22,9	23,0	6,02	480	4,10	155,5	0	0	48,80
PP 08 metros	19/06/98	23,8	23,9	7,74	160	0,47	171,2	0	0	149,45	
	24/11/98	27,5	27,2	7,63	513	1,49	162,5	0	0	125,05	
	42,85	09/03/99	36,1	35,8	7,36	467	2,38	155,0	0	0	94,55
	94,35	09/03/99	34,1	33,6	6,84	476	7,12	193,0	0	0	97,60
	A-75	11/05/99		27,0	6,83	429	6,43	205,0	0	0	109,80
	A-97	11/05/99		24,8	6,76	421	4,60	206,0	0	0	118,95
	A-115	12/05/99		24,9	6,74	486	4,22	207,0	0	0	106,75
	A-130	12/05/99		24,3	6,63	491	4,53	205,0	0	0	106,75
	B-75	13/05/99		24,9	6,62	473	4,15	205,0	0	0	134,20
	B-97	13/05/99		25,1	6,65	460	4,03	207,0	0	0	122,00

Poços PP 08	Coleta	T ar (°C)	T água (°C)	pH	Eh (mV)	O ₂ (mg/L)	C.E. (µS/cm)	OH (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)
B-115	13/05/99		24,8	6,65	447	4,24	207,0	0	0	131,15
B-130	13/05/99		26,0	6,65	428	4,15	209,0	0	0	122,00
75	22/06/99	24,8	24,9	6,75	506	6,70	211,0	0	0	137,25
97	22/06/99	22,8	22,8	6,73	498	5,00	215,0	0	0	128,10
115	22/06/99	19,2	19,1	6,74	510	6,80	218,0	0	0	118,95
130	22/06/99	17,9	18,1	7,05	535	7,10	250,0	0	0	146,40

Parâmetros físico-químicos analisados nas águas de poços tubulares particulares de Urânia (mg/L).

L.D.: limite de detecção

V.M.P.: valor máximo permitido pela legislação vigente- Portaria 36, do Ministério da Saúde, de 19-01-90 (CETESB, 1994)

N.D.: valor não detectado

L.D.	mg/L		0,55	0,18		0,02			0,02	0,00	0,025	0,05			0,003	0,02		0,04				0,05			0,05	0,008
V.M.P.	mg/L	0,05	0,2	1,0			0,005	250	0,05		1,0	0,3									10	0,05		400		5,0

Poços	Coleta	Ag ⁺	Al ³⁺	Ba ²⁺	Br	Ca ²⁺	Cd ²⁺	Cl ⁻	Cr t	Cr ⁶⁺	Cu ²⁺	Fe t	F ⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Na ⁺	Ni ²⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻ -N	Pb ²⁺	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Sr ²⁺	Zn ²⁺
PT 01	17/06/98	N.D.	N.D.	0,49	0,140	17,15	N.D.	11,98	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,14	7,8	8,70	N.D.	7,0	N.D.	N.D.	59,67	13,47	N.D.	0,040	0,17	0,14	0,01
	23/11/98	N.D.	N.D.	0,45	0,006	18,75	N.D.	10,09	N.D.	0,005	N.D.	N.D.	0,14	6,2	7,45	N.D.	7,3	N.D.	0,030	46,19	10,43	N.D.	0,010	0,56	0,06	0,01
	08/03/99	N.D.	N.D.	0,39	0,018	16,75	N.D.	12,98	N.D.	0,005	N.D.	N.D.	0,33	6,4	8,05	N.D.	6,5	N.D.	0,070	61,32	13,85	N.D.	0,050	0,14	0,16	0,02
	22/06/99	N.D.	N.D.	0,43	N.D.	17,50	N.D.	12,83	0,02	0,005	N.D.	0,07	0,04	6,2	7,60	N.D.	6,5	N.D.	N.D.	67,06	15,14	N.D.	0,210	0,14	0,15	N.D.
PT 02	17/06/98	N.D.	N.D.	0,28	N.D.	30,60	N.D.	3,19	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	0,11	10,4	8,90	N.D.	7,6	N.D.	N.D.	13,23	2,99	N.D.	0,003	0,09	0,34	0,01
	26/11/98	N.D.	N.D.	0,29	0,005		N.D.		N.D.	0,01	N.D.	N.D.	0,10			N.D.		N.D.	0,013			N.D.	0,050		0,21	0,01
	08/03/99	N.D.	N.D.	0,26	0,005	29,40	N.D.	4,28	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	0,08	4,6	9,90	N.D.	4,0	N.D.	0,014	18,44	4,16	N.D.	0,040	0,06	0,36	0,01
	21/06/99	N.D.	N.D.	0,25	N.D.	38,90	N.D.	5,41	0,02	0,01	N.D.	N.D.	0,07	4,8	9,70	N.D.	3,8	N.D.	N.D.	18,60	4,20	N.D.	0,180	0,08	0,38	0,02
PT 05	17/06/98	N.D.	N.D.	0,23	N.D.	19,35	N.D.	1,54	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,28	5,8	4,90	N.D.	4,3	N.D.	N.D.	22,12	4,99	N.D.	0,290	0,20	0,16	0,04
	27/11/98	N.D.	N.D.	0,23	0,004		N.D.		N.D.	0,01	N.D.	N.D.	0,19			N.D.		N.D.	N.D.			N.D.	0,070		0,11	0,04
	08/03/99	N.D.	N.D.	0,23	0,008	19,65	N.D.	1,79	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	0,30	3,6	7,20	N.D.	2,6	N.D.	N.D.	35,07	7,92	N.D.	0,210	0,09	0,21	0,05
	22/06/99	N.D.	N.D.	0,23	N.D.	20,80	N.D.	2,53	0,02	0,01	N.D.	N.D.	0,18	3,6	6,40	N.D.	2,5	N.D.	N.D.	34,81	7,87	N.D.	0,490	0,06	0,19	0,03
PT 08	18/06/98	N.D.	N.D.	0,29	0,012	24,60	N.D.	8,36	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	0,30	5,8	12,35	N.D.	5,9	N.D.	0,003	70,39	15,9	N.D.	0,200	0,11	0,16	0,04
	25/11/98	N.D.	N.D.	0,24	0,007	22,45	N.D.	3,78	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	0,18	4,0	10,9	N.D.	4,7	N.D.	0,010	35,41	8,00	N.D.	0,070	0,07	0,10	0,10
	08/03/99	N.D.	N.D.	0,20	0,012	25,10	N.D.	7,46	N.D.	0,01	N.D.	0,05	0,27	4,1	11,5	N.D.	4,5	N.D.	0,040	60,10	13,57	N.D.	0,080	0,15	0,20	0,08
	21/06/99	N.D.	N.D.	0,25	N.D.	32,40	N.D.	8,03	0,02	0,02	N.D.	N.D.	0,13	4,0	10,6	N.D.	4,4	N.D.	N.D.	65,36	14,76	N.D.	0,550	0,07	0,19	0,07
PT 11	17/06/98	N.D.	N.D.	0,30	0,009	22,00	N.D.	5,58	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,17	2,6	7,50	N.D.	2,5	N.D.	0,004	57,59	13,00	N.D.	0,040	0,31	0,19	0,08
	27/11/98	N.D.	N.D.	0,31	0,007		N.D.		N.D.	0,00	N.D.	0,33	0,10			N.D.		N.D.	0,005			N.D.	0,020		0,12	0,23
	08/03/99	N.D.	N.D.	0,25	0,013	19,10	N.D.	7,04	N.D.	0,005	N.D.	N.D.	0,12	4,9	6,60	N.D.	5,3	N.D.	0,018	60,25	13,60	N.D.	0,030	0,33	0,20	0,07
	23/06/99	N.D.	N.D.	0,29	N.D.	19,50	N.D.	8,31	N.D.	0,005	N.D.	N.D.	0,05	4,8	5,60	N.D.	6,1	N.D.	N.D.	61,41	13,87	N.D.	0,260	0,51	0,21	0,11
PT 12	19/06/98	N.D.	N.D.	0,18	0,005	15,30	N.D.	1,10	0,02	0,02	N.D.	N.D.	0,19	11,2	4,55	N.D.	15,0	N.D.	0,004	2,24	0,51	N.D.	0,015	0,06	0,06	N.D.
	25/11/98	N.D.	N.D.	0,18	0,005		N.D.		0,02	0,02	N.D.	N.D.	0,19			N.D.		N.D.	N.D.			N.D.	0,009		0,05	0,03
	08/03/99	N.D.	N.D.	N.D.	0,010	10,00	N.D.	0,39	0,02	0,02	N.D.	N.D.	0,18	2,6	3,25	N.D.	3,8	N.D.	0,009	1,46	0,33	N.D.	0,060	0,05	0,05	N.D.
	21/06/99	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		N.D.		0,04	0,04	N.D.	N.D.	0,08			N.D.		N.D.	N.D.			N.D.	0,140		0,08	N.D.

Poços	Coleta	Ag ⁺	Al ³⁺	Ba ²⁺	Br	Ca ²⁺	Cd ²⁺	Cl ⁻	Cr t	Cr ⁶⁺	Cu ²⁺	Fe t	F ⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Na ⁺	Ni ²⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻ -N	Pb ²⁺	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Sr ²⁺	Zn ²⁺
PT 13	18/06/98	N.D.	N.D.	0,26	0,003	44,38	N.D.	5,39	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	0,05	5,1	11,60	N.D.	3,6	N.D.	0,020	21,53	4,86	N.D.	0,070	0,17	0,34	N.D.
	26/11/98	N.D.	N.D.	0,25	0,008	38,80	N.D.	6,52	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	0,01	3,6	10,25	N.D.	3,1	N.D.	0,020	24,86	5,80	N.D.	0,008	0,15	0,19	N.D.
	08/03/99	N.D.	N.D.	0,21	0,018	37,30	N.D.	4,30	0,02	0,02	N.D.	N.D.	0,22	3,2	11,70	N.D.	2,4	N.D.	0,010	17,31	3,91	N.D.	0,013	0,07	0,36	N.D.
	21/06/99	N.D.	N.D.	0,24	N.D.	49,30	N.D.	6,90	0,03	0,02	N.D.	N.D.	0,05	3,3	10,70	N.D.	2,3	N.D.	N.D.	24,59	5,55	N.D.	0,250	0,10	0,36	N.D.
PT 14	18/06/98	N.D.	N.D.	0,25	0,010	11,85	N.D.	17,32	N.D.	0,00	N.D.	0,21	0,04	5,8	4,90	0,03	28,0	N.D.	0,030	55,58	12,55	N.D.	0,020	0,88	0,11	N.D.
	26/11/98	N.D.	N.D.	0,26	0,016	14,40	N.D.	23,29	N.D.	0,005	N.D.	0,07	0,06	2,7	6,10	0,04	13,2	N.D.	0,080	69,31	15,65	N.D.	0,018	1,28	0,09	N.D.
	09/03/99	N.D.	N.D.	0,19	0,013	17,55	N.D.	20,94	N.D.	0,005	N.D.	0,06	0,11	2,9	7,30	0,04	13,4	N.D.	0,090	69,04	15,59	N.D.	0,030	2,17	0,18	N.D.
	22/06/99	N.D.	N.D.	0,25	N.D.	17,70	N.D.	23,74	N.D.	0,005	N.D.	0,07	0,06	2,7	6,20	0,04	11,2	N.D.	N.D.	69,40	15,67	N.D.	0,390	1,70	0,15	N.D.
PT 15	19/06/98	N.D.	N.D.	N.D.	0,007	4,70	N.D.	6,58	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,15	5,9	3,05	N.D.	10,2	N.D.	0,020	29,15	6,58	N.D.	0,270	0,15	N.D.	0,02
	25/11/98	N.D.	N.D.	N.D.	0,004	9,05	N.D.	4,83	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	0,04	4,0	5,30	N.D.	6,9	N.D.	0,014	20,20	4,56	N.D.	0,020	0,08	N.D.	0,02
	08/03/99	N.D.	N.D.	N.D.	0,016	7,05	N.D.	6,12	0,02	0,02	N.D.	N.D.	0,09	3,7	4,35	N.D.	6,5	N.D.	0,030	28,87	6,52	N.D.	0,050	0,11	0,04	0,04
	21/06/99	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	7,10	N.D.	9,18	0,02	0,02	N.D.	N.D.	0,02	3,6	3,50	N.D.	6,1	N.D.	N.D.	37,29	8,42	N.D.	0,850	0,13	N.D.	N.D.
PT 16	19/06/98	N.D.	N.D.	0,21	0,003	21,9	N.D.	0,65	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	0,17	5,4	2,65	N.D.	7,8	N.D.	0,005	2,12	0,48	N.D.	0,007	0,09	0,10	N.D.
	25/11/98	N.D.	N.D.	0,21	0,006		N.D.		0,02	0,02	N.D.	N.D.	0,21			N.D.		N.D.	N.D.			N.D.	0,013		0,08	N.D.
	08/03/99	N.D.	N.D.	N.D.	0,020	21,5	N.D.	0,36	0,03	0,03	N.D.	N.D.	0,12	2,9	5,90	N.D.	3,9	N.D.	0,013	2,56	0,58	N.D.	0,090	0,07	0,15	N.D.
	21/06/99	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		N.D.		0,04	0,04	N.D.	N.D.	0,04			N.D.		N.D.	N.D.			N.D.	0,170		0,13	N.D.

Poços	Coleta	T ar (°C)	T água (°C)	pH	Eh (mV)	O ₂ (mg/L)	C.E. (μS/cm)	OH (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)
PT 01	17/06/98	25,5	25,5	6,15	488	5,90	249,0			
	23/11/98	30,1	27,7	6,62	464	4,27	233,0	0	0	42,70
	08/03/99	29,6	29,4	6,19	494	4,50	257,0	0	0	36,60
	22/06/99	21,1	21,0	6,49	537	6,30	235,0	0	0	39,65
PT 02	17/06/98	25,7	25,5	6,76	508	6,75	268,0			
	26/11/98	28,8	27,1	6,92	531	3,57	246,0	0	0	210,45
	08/03/99	30,4	30,1	6,62	487	5,85	233,0	0	0	134,20
	21/06/99	21,0	21,6	6,69	523	4,90	266,0	0	0	167,75
PT 05	17/06/98	24,5	24,9	6,97	514	8,03	198,2			
	27/11/98	26,4	23,7	7,52	481	3,86	186,0	0	0	109,80
	08/03/99	30,4	30,1	7,08	478	6,14	194,9	0	0	79,30
	22/06/99	22,3	26,8	7,09	528	5,10	192,0	0	0	91,50
PT 08	18/06/98	28,0	23,6	6,68	512	0,73	294,0			
	25/11/98	33,3	22,0	7,18	477	2,61	251,0	0	0	109,80
	08/03/99	31,7	28,1	6,15	466	4,16	234,0	0	0	85,40
	21/06/99	26,8	30,4	6,95	520	3,10	258,0	0	0	97,60
PT 11	17/06/98	26,0	26,2	6,13	493	5,45	223,0			
	27/11/98	27,4	25,7	6,40	410	3,78	216,0	0	0	73,20
	08/03/99	31,8	24,6	5,97	494	4,48	211,0	0	0	45,75
	23/06/99	17,8	17,9	6,25	526	5,20	223,0	0	0	57,95
PT 12	19/06/98	25,5	26,1	6,99	491	0,70	157,1			
	25/11/98	31,6	20,5	7,17	531	3,97	137,3	0	0	115,90
	08/03/99	26,8	26,5	6,92	491	6,31	93,3	0	0	67,10
	21/06/99	20,1	20,2	7,14	462	6,00	140,3	0	0	109,80
PT 13	18/06/98	24,5	23,8	6,78	459	5,76	318,0			
	26/11/98	27,3	21,3	7,17	532	2,83	265,0	0	0	183,00
	08/03/99	30,0	29,3	6,82	480	5,24	279,0	0	0	183,00
	21/06/99	24,2	24,0	7,05	514	4,10	315,0	0	0	198,25
PT 14	18/06/98	29,0	28,2	5,34	502	0,70	258,0			
	26/11/98	27,5	25,3	5,50	495	1,58	240,0	0	0	15,25
	09/03/99	29,2	28,8	5,34	453	2,44	264,0	0	0	15,25
	22/06/99	14,3	14,5	5,51	519	3,70	238,0	0	0	12,20

Poços	Coleta	T ar (°C)	T água (°C)	pH	Eh (mV)	O ₂ (mg/L)	C.E. (μS/cm)	OH (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)
PT 15	19/06/98	27,0	26,5	5,96	494	0,66	107,9			
	25/11/98	29,1	24,9	6,36	515	3,13	155,0	0	0	42,70
	08/03/99	25,0	26,0	6,41	514	2,43	112,6	0	0	21,35
	21/06/99	18,5	17,8	5,84	474	4,00	129,7	0	0	15,25
PT 16	19/06/98	23,5	25,1	6,83	491	0,58	203,0			
	25/11/98	31,8	21,8	7,02	547	4,04	186,3	0	0	155,55
	08/03/99	27,7	27,2	6,97	502	5,90	156,2	0	0	128,10
	21/06/99	19,6	19,7	6,85	476	5,50	178,3	0	0	131,15

Parâmetros físico-químicos analisados nas águas de poços cacimbas de Urânia (mg/L).

L.D.: limite de detecção

V.M.P.: valor máximo permitido pela legislação vigente- Portaria 36, do Ministério da Saúde, de 19-01-90 (CETESB, 1994)

N.D.: valor não detectado

L.D.	mg/L		0,55	0,18		0,02			0,02	0,00	0,025	0,05			0,003	0,02		0,04				0,05			0,05	0,008
V.M.P.	mg/L	0,05	0,2	1,0			0,005	250	0,05		1,0	0,3									10	0,05		400		5,0

Poços	Coleta	Ag ⁺	Al ³⁺	Ba ²⁺	Br	Ca ²⁺	Cd ²⁺	Cl ⁻	Crt	Cr ⁶⁺	Cu ²⁺	Fet	F ⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Na ⁺	Ni ²⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻ -N	Pb ²⁺	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Sr ²⁺	Zn ²⁺
PC 02	17/06/98	N.D.	N.D.	0,31	0,012	17,80	N.D.	9,83	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	0,01	16,0	6,80	N.D.	13,0	N.D.	0,030	63,07	14,24	N.D.	0,008	0,36	0,14	0,02
	26/11/98	N.D.	N.D.	0,38	0,010	14,65	N.D.	10,94	N.D.	0,005	N.D.	N.D.	0,04	6,5	7,35	N.D.	5,0	N.D.	0,030	66,29	14,97	N.D.	0,020	0,30	0,10	0,04
	10/03/99	N.D.	N.D.	0,34	0,012	19,35	N.D.	11,16	N.D.	0,005	N.D.	0,06	0,05	6,4	7,75	N.D.	5,5	N.D.	0,050	69,41	15,67	N.D.	0,040	0,49	0,18	N.D.
	22/06/99	N.D.	N.D.	N.D.	0,008	21,10	N.D.	15,28	0,02	0,005	N.D.	N.D.	0,08	6,7	7,10	N.D.	7,2	N.D.	N.D.	85,31	19,26	N.D.	0,140	0,67	0,18	0,02
PC 04	18/06/98	N.D.	N.D.	0,44	0,011	28,70	N.D.	21,30	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	0,02	16,5	7,65	N.D.	38,0	N.D.	0,030	116,41	26,29	N.D.	0,007	0,55	0,24	0,01
	26/11/98	N.D.	N.D.	0,40	0,010	23,00	N.D.	22,23	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,05	6,5	7,45	N.D.	20,5	N.D.	0,110	113,24	25,57	N.D.	0,015	0,61	0,16	0,01
	10/03/99	N.D.	N.D.	0,34	0,014	31,20	N.D.	20,67	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,07	6,4	8,10	N.D.	19,5	N.D.	0,030	99,65	22,50	N.D.	0,040	0,58	0,38	N.D.
	21/06/99	N.D.	N.D.	0,41	N.D.	41,80	N.D.	27,07	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,09	7,3	7,70	N.D.	19,0	N.D.	N.D.	126,12	28,49	N.D.	0,130	0,81	0,33	N.D.
PC 06	18/06/98	N.D.	N.D.	0,19	0,090	22,90	N.D.	6,43	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,15	14,0	3,55	N.D.	7,4	N.D.	0,020	33,26	8,64	N.D.	0,060	0,59	0,11	0,04
	26/11/98	N.D.	N.D.	N.D.	0,007		N.D.		N.D.	0,005	N.D.	N.D.	0,01			N.D.		N.D.	0,008			N.D.	0,020		N.D.	0,02
	10/03/99	N.D.	N.D.	0,18	0,011	25,05	N.D.	8,82	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,03	7,9	4,45	N.D.	5,0	N.D.	0,012	55,81	12,60	N.D.	0,040	0,47	0,19	0,02
	21/06/99	N.D.	N.D.	0,19	0,004	18,10	N.D.	7,74	0,02	0,00	N.D.	N.D.	0,12	6,9	2,80	N.D.	4,2	N.D.	N.D.	51,64	11,66	N.D.	0,080	0,51	0,13	0,27
PC 07	18/06/98	N.D.	N.D.	0,18	0,080	3,80	N.D.	2,52	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,02	27,0	2,60	N.D.	14,5	N.D.	0,020	48,21	10,89	N.D.	0,006	0,10	N.D.	N.D.
	27/11/98	N.D.	N.D.	0,28	0,004	4,55	N.D.	3,19	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	0,02	6,5	4,00	N.D.	3,9	N.D.	0,009	48,29	10,90	N.D.	0,006	0,09	0,05	0,03
	10/03/99	N.D.	N.D.	0,31	0,020	6,95	N.D.	2,36	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	0,03	6,4	4,30	0,02	3,5	N.D.	N.D.	46,40	10,48	N.D.	0,016	0,13	0,10	N.D.
	22/06/99	N.D.	N.D.	0,29	0,003	5,50	N.D.	2,55	0,02	0,01	N.D.	N.D.	0,06	6,3	3,50	0,03	3,3	N.D.	N.D.	50,29	11,36	N.D.	0,043	0,15	0,08	0,01
PC 08	18/06/98	N.D.	N.D.	0,24	0,020	10,00	N.D.	17,08	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,25	14,5	7,05	0,09	25,0	N.D.	0,060	68,56	15,48	N.D.	0,020	3,71	N.D.	0,01
	24/11/98	N.D.	N.D.	0,18	0,020	7,40	N.D.	14,13	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,04	7,3	6,90	0,09	18,5	N.D.	0,040	55,72	12,58	N.D.	0,020	1,34	N.D.	0,01
	10/03/99	N.D.	N.D.	0,30	0,020	11,55	N.D.	14,51	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,05	10,0	7,95	0,09	20,0	N.D.	0,070	65,11	14,70	N.D.	0,050	2,46	0,10	N.D.
	21/06/99	N.D.	N.D.	0,19	0,023	10,80	N.D.	16,93	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,04	9,4	6,00	0,08	18,5	N.D.	N.D.	68,78	15,53	N.D.	0,200	3,58	0,20	N.D.
PC 09	18/06/98	N.D.	N.D.	0,21	0,014	14,10	N.D.	27,46	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,13	2,2	4,45	0,04	24,0	N.D.	0,070	59,05	13,33	N.D.	0,012	0,64	0,08	0,01
	24/11/98	N.D.	N.D.	0,33	0,012	17,40	N.D.	35,66	N.D.	0,00	0,04	N.D.	0,23	2,2	6,35	0,06	29,0	N.D.	0,070	84,27	19,03	N.D.	0,018	1,00	0,13	0,03
	10/03/99	N.D.	N.D.	0,46	0,009	34,70	N.D.	38,10	N.D.	0,005	N.D.	N.D.	0,08	2,4	8,10	0,05	29,0	N.D.	0,050	95,40	21,54	N.D.	0,020	0,64	0,28	N.D.
	21/06/99	N.D.	N.D.	0,31	0,004	24,10	N.D.	40,65	N.D.	0,005	N.D.	N.D.	0,04	2,4	5,80	0,05	22,5	N.D.	N.D.	97,62	22,04	N.D.	0,440	0,97	0,09	N.D.

Poços	Coleta	Ag ⁺	Al ³⁺	Ba ²⁺	Br	Ca ²⁺	Cd ²⁺	Cl ⁻	Cr t	Cr ⁶⁺	Cu ²⁺	Fe t	F ⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Na ⁺	Ni ²⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻ -N	Pb ²⁺	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Sr ²⁺	Zn ²⁺
PC 10	19/06/98	N.D.	N.D.	N.D.	0,011	9,25	N.D.	6,02	N.D.	0,00	N.D.	0,08	0,15	5,0	1,35	0,03	15,5	N.D.	0,030	35,31	7,97	N.D.	0,012	0,89	0,09	0,01
	25/11/98	N.D.	N.D.	N.D.	0,005	6,05	N.D.	4,71	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,07	4,4	1,10	N.D.	15,0	N.D.	0,009	27,92	6,30	N.D.	0,050	0,40	0,08	0,01
	10/03/99	N.D.	N.D.	N.D.	0,030	5,25	N.D.	6,25	N.D.	0,00	N.D.	0,16	0,06	4,2	1,60	0,02	14,2	N.D.	0,030	37,35	8,43	N.D.	0,060	0,26	0,09	N.D.
	21/06/99	N.D.	N.D.	N.D.	0,005	7,80	N.D.	6,58	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,03	4,7	1,00	0,06	13,6	N.D.	N.D.	37,22	8,40	N.D.	0,065	0,46	0,34	0,10
PC 11	17/06/98	N.D.	N.D.	0,63	0,004	29,30	N.D.	40,17	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,14	13,5	12,00	0,05	34,0	N.D.	0,080	154,83	34,96	N.D.	0,040	0,51	0,18	0,02
	26/11/98	N.D.	N.D.	0,69	0,009		N.D.		N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,12			0,04		N.D.	0,060			N.D.	0,009		0,23	0,04
	10/03/99	N.D.	N.D.	0,90	0,010	37,2	N.D.	44,00	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,18	7,6	15,5	0,06	23,5	N.D.	0,050	163,19	36,85	N.D.	0,030	0,41	0,41	0,01
	21/06/99	N.D.	N.D.	0,64	0,012	43,80	N.D.	47,15	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,14	7,4	11,8	0,04	24,5	N.D.	N.D.	160,45	36,23	N.D.	0,100	0,54	0,26	0,10
PC 12	17/06/98	N.D.	N.D.	0,31	0,020	16,45	N.D.	11,33	N.D.	0,00	N.D.	0,09	0,05	7,2	7,00	0,02	5,10	N.D.	0,020	54,78	12,37	N.D.	0,010	1,38	0,11	0,02
	26/11/98	N.D.	N.D.	0,35	0,030	20,85	N.D.	20,41	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,07	4,2	9,15	0,03	4,10	N.D.	0,050	78,83	17,80	N.D.	0,040	2,24	0,20	0,04
	10/03/99	N.D.	N.D.	0,26	0,018	16,50	N.D.	14,43	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,06	3,5	7,70	N.D.	3,10	N.D.	0,020	67,78	15,31	N.D.	0,040	1,68	0,23	N.D.
	21/06/99	N.D.	N.D.	0,30	0,014	21,40	N.D.	24,95	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,06	4,0	7,90	0,02	3,60	N.D.	N.D.	78,64	17,76	N.D.	0,190	2,09	0,28	N.D.
PC 14	18/06/98	N.D.	N.D.	0,33	0,009	16,95	N.D.	55,34	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,19	9,2	8,15	0,07	48,0	N.D.	0,070	91,15	20,58	N.D.	0,012	0,19	0,08	0,02
	24/11/98	N.D.	N.D.	0,24	0,008	14,00	N.D.	36,09	N.D.	0,00	N.D.	0,05	0,17	3,2	6,70	0,06	26,0	N.D.	0,060	79,37	17,92	N.D.	0,018	0,35	0,09	0,02
	10/03/99	N.D.	N.D.	0,36	0,008		N.D.		N.D.	0,00	N.D.	0,06	0,12			0,09		N.D.	0,020			N.D.	0,030		0,19	0,01
	21/06/99	N.D.	N.D.	0,30	N.D.	19,50	N.D.	55,34	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,13	4,5	8,10	0,08	30,0	N.D.	N.D.	109,58	24,74	N.D.	0,490	0,36	0,16	N.D.
PC 16	18/06/98	N.D.	N.D.	0,38	0,012	8,80	N.D.	33,44	N.D.	0,00	N.D.	0,05	0,18	15,0	6,75	0,25	63,0	N.D.	0,030	113,66	25,67	N.D.	0,020	0,59	0,05	0,03
	26/11/98	N.D.	N.D.	0,26	0,010		N.D.		N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,11			0,20		N.D.	0,070			N.D.	0,013		0,04	0,04
	10/03/99	N.D.	N.D.	0,25	0,011	8,60	N.D.	26,45	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,12	7,7	6,55	0,20	33,0	N.D.	0,012	78,80	17,79	N.D.	0,020	0,67	0,09	0,02
	21/06/99	N.D.	N.D.	0,26	N.D.	8,80	N.D.	26,69	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,10	6,9	4,90	0,21	27,5	N.D.	N.D.	87,21	19,69	N.D.	0,087	0,24	0,06	0,02
PC 17	18/06/98	N.D.	N.D.	0,33	0,011	17,05	N.D.	24,89	N.D.	0,00	N.D.	0,06	0,14	8,0	7,05	0,10	31,0	N.D.	0,070	87,43	19,74	N.D.	0,020	0,90	0,06	0,03
	25/11/98	N.D.	N.D.	0,33	0,008	15,95	N.D.	20,12	N.D.	0,005	N.D.	N.D.	0,17	4,4	7,05	0,09	19,0	N.D.	0,050	83,54	18,86	N.D.	0,013	0,22	0,09	0,01
	10/03/99	N.D.	N.D.	0,28	0,009	22,35	N.D.	29,23	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,11	8,1	10,2	0,08	32,0	N.D.	0,040	94,74	21,39	N.D.	0,040	0,95	0,19	0,01
	21/06/99	N.D.	N.D.	0,34	N.D.	19,80	N.D.	48,65	N.D.	0,00	N.D.	0,06	0,09	5,0	7,0	0,10	35,5	N.D.	N.D.	116,38	26,28	N.D.	0,210	0,36	0,14	0,01
PC 18	18/06/98	N.D.	N.D.	0,83	0,005	12,85	N.D.	28,31	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,16	20,0	6,85	0,52	80,0	N.D.	0,030	134,86	30,45	N.D.	0,016	0,27	0,10	0,03
	24/11/98	N.D.	N.D.	0,85	0,006		N.D.		N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,19			0,59		N.D.	0,050			N.D.	0,020		0,10	0,10
	10/03/99	N.D.	N.D.	0,30	0,010		N.D.		N.D.	0,005	N.D.	N.D.	0,09			0,26		N.D.	0,040			N.D.	0,030		0,18	0,01
	22/06/99	N.D.	N.D.	0,56	0,008	8,90	N.D.	23,57	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,07	5,6	4,0	0,36	24,5	N.D.	N.D.	81,35	18,37	N.D.	0,190	0,23	0,10	0,01
PC 22	18/06/98	N.D.	N.D.	N.D.	0,012	4,80	N.D.	27,67	N.D.	0,00	N.D.	N.D.	0,39	15,5	1,95	0,03	132,5	N.D.	0,040	58,78	13,27	N.D.	0,015	2,26	N.D.	N.D.
	25/11/98	N.D.	N.D.	N.D.	0,008		N.D.		N.D.	0,005	N.D.	N.D.	0,03			0,02		N.D.	0,020			N.D.	0,020		N.D.	0,01
	10/03/99	N.D.	N.D.	0,30	0,014		N.D.		N.D.	0,00	N.D.	0,07	0,10			0,09		N.D.	0,040			N.D.	0,030		0,10	0,01
	21/06/99	N.D.	N.D.	N.D.	0,008		N.D.		0,02	0,005	N.D.	N.D.	0,04			0,06		N.D.	N.D.			N.D.	0,110		N.D.	N.D.

Poços	Coleta	T ar (°C)	T água (°C)	pH	Eh (mV)	O ₂ (mg/L)	C.E. (μS/cm)	OH (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)
PC 02	17/06/98	25,4	25,4	6,45	485	6,30	241,0			
	26/11/98	37,1	26,7	6,30	561	2,80	219,0	0	0	30,50
	10/03/99	30,0	28,2	6,22	503	4,36	237,0	0	0	36,60
	22/06/99	18,3	18,2	6,53	549	6,10	269,0	0	0	30,50
PC 04	18/06/98	23,0	24,1	6,42	471	5,38	390,0			
	26/11/98	35,7	27,2	6,35	536	2,42	332,0	0	0	45,75
	10/03/99	27,0	26,7	6,32	490	3,69	358,0	0	0	51,85
	21/06/99	26,7	26,2	6,67	504	3,10	394,0	0	0	57,95
PC 06	18/06/98	33,0	26,4	6,49	491	0,74	203,0			
	26/11/98	28,3	21,6	5,94	524	1,17	120,8	0	0	39,65
	10/03/99	32,0	27,0	6,19	504	3,49	227,0	0	0	51,85
	21/06/99	22,7	22,6	6,24	519	3,60	183,0	0	0	45,75
PC 07	18/06/98	20,8	22,9	5,86	501	6,46	126,6			
	27/11/98	26,4	22,4	5,82	570	3,05	148,3	0	0	9,15
	10/03/99	27,5	26,8	5,56	530	4,76	124,0	0	0	12,20
	22/06/99	16,9	17,4	5,53	568	6,10	121,0	0	0	3,05
PC 08	18/06/98	32,4	27,2	5,88	490	0,70	252,0			
	24/11/98	36,4	29,2	5,82	547	1,04	227,0	0	0	30,50
	10/03/99	35,1	32,4	5,71	491	1,20	254,0	0	0	36,60
	21/06/99	24,6	24,7	5,88	542	2,40	241,0	0	0	39,65
PC 09	18/06/98	31,0	27,5	5,92	524	0,69	255,0			
	24/11/98	38,3	28,5	5,70	553	1,54	317,0	0	0	12,20
	10/03/99	33,7	31,0	5,84	500	3,34	386,0	0	0	24,40
	21/06/99	27,7	26,2	5,96	527	3,50	337,0	0	0	21,35
PC 10	19/06/98	25,2	25,2	6,28	513	0,65	167,5			
	25/11/98	30,3	24,4	6,27	564	2,88	132,7	0	0	33,55
	10/03/99	29,6	29,1	5,79	497	4,79	125,0	0	0	21,35
	21/06/99	19,3	19,5	6,62	474	4,50	135,0	0	0	21,35

Poços	Coleta	T ar (°C)	T água (°C)	pH	Eh (mV)	O ₂ (mg/L)	C.E. (µS/cm)	OH (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)
PC 11	17/06/98	26,7	25,1	5,69	494	5,60	463,0			
	26/11/98	35,7	23,5	5,83	580	2,63	330,0	0	0	21,35
	10/03/99	27,0	27,4	5,40	523	4,23	512,0	0	0	18,30
	21/06/99	25,0	25,1	5,79	519	3,20	486,0	0	0	15,25
PC 12	17/06/98	26,7	25,4	5,07	503	4,63	224,0			
	26/11/98	32,5	24,4	5,78	595	2,97	270,0	0	0	15,25
	10/03/99	37,2	36,5	5,12	535	4,65	202,0	0	0	12,20
	21/06/99	24,4	25,0	5,47	539	3,10	256,0	0	0	9,15
PC 14	18/06/98	27,5	26,7	4,82	471	5,28	369,0			
	24/11/98	37,1	30,6	5,20	572	2,23	307,0	0	0	6,10
	10/03/99	35,0	28,4	4,92	557	3,19	408,0	0	0	6,10
	21/06/99	24,8	24,5	4,98	555	3,10	389,0	0	0	6,10
PC 16	18/06/98	33,0	28,1	5,15	493	1,07	360,0			
	26/11/98	28,5	18,6	5,35	565	1,63	257,0	0	0	9,15
	10/03/99	28,5	27,6	5,10	530	2,15	303,0	0	0	9,15
	21/06/99	21,9	22,0	5,07	489	2,40	301,0	0	0	9,15
PC 17	18/06/98	28,0	27,1	5,57	458	3,58	325,0			
	25/11/98	37,9	21,1	5,89	513	1,48	295,0	0	0	18,30
	10/03/99	29,7	27,3	5,84	515	1,89	355,0	0	0	36,60
	21/06/99	20,9	21,0	5,92	354	4,10	394,0	0	0	21,35
PC 18	18/06/98	29,5	24,8	6,00	474	5,62	380,0			
	24/11/98	38,0	30,6	5,27	530	1,57	320,0	0	0	6,10
	10/03/99	31,3	28,3	5,92	506	3,19	243,0	0	0	27,45
	22/06/99	12,4	12,9	5,69	554	8,00	253,0	0	0	15,25
PC 22	18/06/98	28,9	26,4	5,71	505	0,72	234,0			
	25/11/98	29,7	24,5	5,75	593	2,40	156,5	0	0	12,20
	10/03/99	29,3	28,9	5,37	535	4,04	243,0	0	0	12,20
	21/06/99	20,7	20,5	5,35	493	4,10	184,0	0	0	21,35

Análises de SiO₂ nas águas de poços tubulares e cacimbas de Urânia
(coleta realizada em outubro de 1999)

Poços	SiO ₂ (mg/L)
PC 07	23,0
PC 08	12,3
PC 10	11,3
PC 12	18,5
PC 14	10,6
PC 17	14,2
PC 22	16,9
PP 01	16,5
PP 04	4,1
PP 05	22,0
PP 06	26,0
PT 01	23,0
PT 08	62,0
PT 14	9,0
PT 15	20,0
PT 16	17,5
PT 17	11,8

Análises de cromo total e hexavalente (mg/L) das águas dos poços tubulares da Sabesp de Urânia (PP 01, PP 02, PP 03, PP 04 e PP 05).

Poço	Coleta	Cr t	Cr6+
PP 01	24/08/1977	0,07	
	27/09/1977	0,03	
	06/12/1978	0,04	
	07/04/1979	0,08	
	25/04/1979	0,04	
	12/03/1980	0,05	
	02/09/1980	0,07	0,07
	18/03/1981	0,07	0,07
	26/05/1981	0,05	
	24/11/1981	0,05	
	28/04/1982	0,05	
	27/10/1982	0,05	
	18/01/1983	0,06	0,06
	13/04/1983	0,02	0,02
	24/05/1983	0,02	
	16/10/1984	0,03	0,01
	26/06/1987	0,02	0,02
	20/08/1987	0,05	
	20/01/1988	0,1	
	06/10/1988	0,06	
	03/11/1988	0,08	0,03
	03/10/1989	0,06	
	20/08/1990	0,12	
	23/10/1992		0,02
	09/12/1994		0,03
	22/04/1997	<0,02	
	19/06/1998	<0,02	0
	metros 23/11/1998	<0,02	0
	46,8 09/03/1999	<0,02	0,01
	106,5 09/03/1999	<0,02	0,01
	46,8 23/06/1999	0,02	0,01
	106,5 23/06/1999	0,02	0,01
PP 02	24/08/1977	0,04	
	27/09/1977	0,05	
	13/04/1983	0,08	0,08
	24/05/1983	0,1	
	16/10/1984	0,15	0,06

Poço	Coleta	Cr t	Cr6+	
PP 02	26/06/1987	0,07	0,07	
	20/08/1990	0,05		
	23/10/1992		0,09	
	01/12/1993	0,09		
	09/12/1994		0,08	
	08/03/1995	0,1	0,08	
	30/03/1995	0,11	0,08	
	30/05/1995	0,08	0,08	
	28/06/1995	0,09	0,07	
	20/07/1995	0,07	0,05	
	02/08/1995	0,09		
	16/08/1995	0,08	0,07	
	22/04/1997	<0,02		
	19/06/1998	0,08	0,07	
	24/11/1998	0,06	0,06	
	horas 09/03/1999	<0,02	0,01	
	18:00 13/05/1999	0,02	0,01	
	18:15 13/05/1999	0,02	0,01	
	19:00 13/05/1999	0,02	0,01	
	24hrs 13/05/1999	0,03	0,03	
	6:00 14/05/1999	0,04	0,04	
	12:00 14/05/1999	0,06	0,05	
	18:00 14/05/1999	0,09	0,06	
		23/06/1999	0,03 0,01	
	PP 03	24/08/1977	0,04	
		27/09/1977	0,03	
		13/04/1983	0,01	0,01
		24/05/1983	0,02	
		16/10/1984	0,03	
		26/06/1987	0,02	
		20/01/1988	0,04	
		20/08/1990	0,04	
23/10/1992			0,02	
19/06/1998		0,02	0,01	
PP 03	24/11/1998	<0,02	0,01	
	09/03/1999	0,02	0,02	
	23/06/1999	0,02	0,01	

Poço	Coleta	Cr t	Cr6+	
PP 04	24/08/1977	0,05		
	27/09/1977	0,05		
	24/05/1983	0,1	0,1	
	16/10/1984	0,09	0,04	
	26/06/1987	0,11	0,11	
	20/08/1990	0,06		
	23/10/1992		0,09	
	01/12/1993	0,1		
	09/12/1994		0,08	
	08/03/1995	0,11	0,09	
	30/03/1995	0,12	0,08	
	30/05/1995	0,1	0,08	
	28/06/1995	0,08	0,08	
	20/07/1995	0,07	0,06	
	02/08/1995	0,09		
	16/08/1995	0,08		
	22/04/1997	0,02		
	horas 19/06/1998	0,09	0,07	
	24/11/1999	0,07	0,07	
	9:10 09/03/1999	0,03	0,03	
	15:00 09/03/1999	0,08	0,08	
	18:10 13/05/1999	0,04	0,03	
	18:25 13/05/1999	0,04	0,03	
	19:10 13/05/1999	0,04	0,03	
	24:10h 14/05/1999	0,11	>0,10	
	6:10 14/05/1999	0,11	>0,10	
	12:10 14/05/1999	0,11	>0,10	
	18:10 14/05/1999	0,12	>0,10	
		23/06/1999	0,04 0,03	
	PP 05	26/05/1981	0,05	
		13/04/1983	0,09	0,09
		16/10/1984	0,11	0,08
26/06/1987		0,11	0,11	
20/08/1990		0,06		
23/10/1992			0,09	
01/12/1993		0,09		
07/12/1994			0,08	

Análises de cromo total e hexavalente (mg/L) das águas dos poços tubulares da Sabesp de Urânia (PP 05-continuação, PP 06 e PP 08).

Poço	Coleta	Cr t	Cr6+	
PP 05	08/03/1995	0.1	0,08	
	30/03/1995	0.1	0,07	
	30/05/1995	0.08	0,08	
	28/06/1995	0.08	0,07	
	20/07/1995	0.07	0,05	
	02/08/1995	0.09		
	16/08/1995	0.07	0,07	
	22/04/1997	0.05		
	19/06/1998	<0,02	0	
horas	10/03/1999	<0,02	0	
17:25	23/06/1999	0,02	0	
17:45	23/06/1999	0,02	0	
18:15	23/06/1999	0,07	0	
19:15	23/06/1999	0,08	0,07	
PP 06	30/09/1982		0,03	
	01/10/1982		0,01	
	13/04/1983	0,11	0,1	
	16/10/1984	0,05	0,04	
	26/06/1987	0,01	0,01	
	20/08/1990	0,01		
	23/10/1992		0,05	
	01/12/1993	0,09		
	07/12/1994		0,04	
metros	19/06/1998	<0,02	0	
	23/11/1998	<0,02	0	
	39,1	09/03/1999	<0,02	0
	101,1	09/03/1999	<0,02	0,01
	A-62	12/05/1999	0,02	0,01
	A-78	12/05/1999	0,02	0,01
	A-94	12/05/1999	0,02	0
	A-110	12/05/1999	0,02	0
	B-62	13/05/1999	0,03	0,01
B-78	13/05/1999	0,02	0,01	
B-94	13/05/1999	0,02	0,01	
B-110	13/05/1999	0,01	0,01	
62 m	23/06/1999	<0,02	0,01	
78 m	23/06/1999	0,02	0,01	

Poço	Coleta	Cr t	Cr6+	
94 m	23/06/1999	0,02	0,01	
110 m	23/06/1999	0,02	0,01	
PP 08	23/10/1992		0,09	
	01/12/1993	0,05		
	07/12/1994		0,08	
	22/04/1997	<0,02		
	19/06/1998	<0,02	0,01	
metros	24/11/1998	<0,02	0	
	42,85	09/03/1999	<0,02	0
	94,35	09/03/1999	0,02	0,02
	A-75	11/05/1999	0,03	0,02
	A-97	11/05/1999	0,02	0,01
	A-115	12/05/1999	0,01	0,01
	A-130	12/05/1999	0,02	0,01
	B-75	13/05/1999	0,02	0,02
	B-97	13/05/1999	0,02	0,02
	B-115	13/05/1999	0,01	0,01
	B-130	13/05/1999	0,02	0,02
	75	22/06/1999	0,02	0,01
	97	22/06/1999	0,02	0,01
	115	22/06/1999	0,03	0
	130	22/06/1999	0,02	0,01

Anexo 13

Resultados do modelo conceitual de equilíbrio químico (Equilibrium Metal Speciation
Model - MINTEQA2 - Version 4.0)

PP 04

Amostra original (pH=8,53)

Espécies de cromo	pH								
									T=6,4°C
	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	8,53	9,0	10,0	8,53
Cr(OH) ₃ am	-3,01	-0,88	0,83	2,03	0,34	-2,42	-4,60	-9,64	-1,13
Cr(OH) ₃	-5,08	-2,94	-1,23	-0,03	-1,72	-4,48	-6,71	-11,70	-3,56
CrO ₃	-33,78	-28,65	-23,93	-19,74	-18,43	-19,6	-20,41	-22,41	-19,66
Cr ₂ O ₃	-5,06	-0,79	2,64	5,03	1,65	-3,93	-8,32	-18,32	-1,99
FeCr ₂ O ₄	-15,68	-11,86	-8,09	-4,50	-6,28	-10,66	-15,59	-27,21	-8,88
MgCr ₂ O ₄	-22,08	-18,26	-14,50	-10,92	-12,82	-9,58	-21,62	-30,56	-9,23
CrF ₃	-20,26	-20,95	-22,21	-24,01	-28,70	-33,20	-36,68	-44,68	-32,19
CrCl ₃	-44,64	-45,53	-46,82	-48,62	-53,31	-57,80	-61,30	-69,30	-58,02
CrBr ₃	-57,37	-58,25	-59,54	-61,34	-66,03	-70,52	-74,02	-82,02	-71,00
MgCrO ₄	-40,87	-36,19	-31,14	-25,76	-22,97	-15,31	-23,78	-24,72	-16,40
CaCrO ₄	-32,83	-28,15	-23,10	-17,73	-15,00	-7,31	-15,92	-16,89	-7,63
SrCrO ₄	-32,60	-27,91	-22,87	-17,48	-14,62	-6,88	-15,27	-16,14	-6,98
Na ₂ CrO ₄	-39,71	-37,76	-34,37	-29,80	-27,37	-14,61	-28,60	-30,28	-14,85
Na ₂ Cr ₂ O ₇	-63,92	-56,83	-48,73	-39,96	-36,22	-24,63	-39,43	-43,12	-24,84
K ₂ CrO ₄	-38,00	-30,88	-24,17	-17,97	-14,70	-14,79	-14,65	-14,65	-14,56
K ₂ Cr ₂ O ₇	-58,32	-46,07	-34,64	-24,24	-19,62	-20,93	-21,60	-23,59	-19,91

Amostra original (Eh= 437mV, pe=7,4)

Espécies de cromo	pe						
	-10	-5	0	5	7,4	10	15
Cr(OH) ₃ am	3,21	3,21	3,21	3,19	-2,42	-10,26	-25,26
Cr(OH) ₃	1,15	1,15	1,15	1,13	-4,48	-12,32	-27,32
CrO ₃	-66,03	-51,03	-36,03	-21,04	-19,6	-19,50	-19,50
Cr ₂ O ₃	7,31	7,31	7,31	7,29	-3,93	-19,63	-49,62
FeCr ₂ O ₄	8,15	8,12	7,71	2,92	-10,66	-28,99	-63,99
MgCr ₂ O ₄	1,73	1,68	1,60	1,44	-9,58	-25,65	-55,87
CrF ₃	-27,50	-27,50	-27,50	-27,51	-33,20	-40,97	-55,96
CrCl ₃	-52,11	-52,11	-52,11	-52,12	-57,80	-65,57	-80,57
CrBr ₃	-64,83	-64,83	-64,82	-64,84	-70,52	-78,30	-93,30
MgCrO ₄	-61,68	-46,73	-31,82	-16,96	-15,31	-15,60	-15,82
CaCrO ₄	-53,69	-38,75	-23,85	-9,01	-7,31	-7,66	-7,90
SrCrO ₄	-53,25	-38,30	-23,39	-8,53	-6,88	-7,17	-7,39
Na ₂ CrO ₄	-61,00	-46,00	-31,01	-16,03	-14,61	-14,52	-14,57
Na ₂ Cr ₂ O ₇	-117,45	-87,46	-57,46	-27,50	-24,63	-24,44	-24,49
K ₂ CrO ₄	-61,18	-46,18	-31,18	-16,19	-14,79	-14,65	-14,65
K ₂ Cr ₂ O ₇	-113,75	-83,75	-53,75	-23,78	-20,93	-20,69	-20,69

PT 16

Amostra original (pH=6,97)

Espécies de cromo	pH							
	4,0	5,0	6,0	6,97	7,0	8,0	9,0	10,0
Cr(OH) ₃ am	-3,56	-1,42	0,28	1,12	1,13	-3,49	-8,48	-13,48
Cr(OH) ₃	-5,61	-3,47	-1,77	-0,92	-0,91	-5,54	-10,52	-15,52
CrO ₃	-31,06	-25,92	-21,23	-17,47	-17,37	-18,99	-20,98	-22,98
Cr ₂ O ₃	-6,13	-1,85	1,55	3,17	3,26	-5,99	-15,96	-25,96
FeCr ₂ O ₄	-15,29	-11,42	-7,68	-3,86	-4,82	-13,36	-24,27	-35,90
MgCr ₂ O ₄	-21,16	-17,29	-13,55	-5,03	-10,67	-18,42	-27,23	-36,17
CrF ₃	-20,60	-21,34	-22,64	-24,89	-24,78	-32,40	-40,39	-48,39
CrCl ₃	-46,15	-47,04	-48,34	-50,56	-50,49	-58,11	-66,10	-74,10
CrBr ₃	-55,75	-56,63	-57,93	-50,16	-60,08	-67,70	-75,69	-83,69
MgCrO ₄	-36,19	-31,45	-26,42	-15,76	-21,38	-21,52	-22,34	-23,28
CaCrO ₄	-28,25	-23,52	-18,48	-7,85	-13,46	-13,65	-14,57	-15,54
SrCrO ₄	-28,57	-23,85	-18,81	-7,99	-13,77	-13,84	-14,49	-15,35
Na ₂ CrO ₄	-36,94	-33,76	-30,37	-17,25	-26,14	-26,64	-27,87	-29,55
Na ₂ Cr ₂ O ₇	-58,45	-50,12	-42,04	-25,17	-33,96	-36,08	-39,30	-42,98
K ₂ CrO ₄	-34,06	-26,93	-20,24	-14,58	-14,38	-14,00	-13,99	-13,99
K ₂ Cr ₂ O ₇	-51,69	-39,43	-28,03	-18,62	-18,32	-19,56	-21,54	-23,54

Amostra original (Eh= 502mV, pe=8,4)

Espécies de cromo	pe						
	-10	-5	0	5	8,4	10	15
Cr(OH) ₃ am	1,47	1,46	1,46	1,46	1,12	-3,21	-18,20
Cr(OH) ₃	-0,58	-0,59	-0,59	-0,59	0,92	-5,25	-20,25
CrO ₃	-72,40	-57,41	-42,41	-27,41	-17,47	-17,07	-17,07
Cr ₂ O ₃	3,87	3,84	3,84	3,84	3,17	-5,49	-35,48
FeCr ₂ O ₄	1,72	1,63	1,56	0,23	-3,86	-14,06	-49,06
MgCr ₂ O ₄	-4,19	-4,28	-4,34	-4,47	-5,03	-14,00	-44,28
CrF ₃	-24,44	-24,47	-24,47	-24,46	-24,89	-29,11	-44,10
CrCl ₃	-50,10	-50,14	-50,14	-50,14	-50,56	-54,80	-69,80
CrBr ₃	-59,70	-59,73	-59,73	-59,73	-50,16	-64,40	-79,39
MgCrO ₄	-70,54	-55,62	-40,68	-25,80	-15,76	-15,68	-15,96
CaCrO ₄	-62,63	-47,70	-32,77	-17,89	-7,85	-7,75	-8,04
SrCrO ₄	-62,78	-47,86	-32,94	-18,10	-7,99	-8,01	-8,32
Na ₂ CrO ₄	-72,10	-57,14	-42,14	-27,16	-17,25	-16,86	-16,95
Na ₂ Cr ₂ O ₇	-134,94	-104,99	-75,00	-45,02	-25,17	-24,38	-24,47
K ₂ CrO ₄	-69,43	-54,46	-39,46	-24,46	-14,58	-14,12	-14,12
K ₂ Cr ₂ O ₇	-128,39	-98,43	-68,43	-38,43	-18,62	-17,76	-17,76

PC 07

Amostra original (pH=5,53)

Espécies de cromo	pH							
	4,0	5,0	5,53	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Cr(OH) ₃ am	-4,41	-2,02	-0,38	-0,14	-2,45	-7,34	-12,33	-17,33
Cr(OH) ₃	-6,63	-4,24	-2,60	-2,36	-4,67	-9,57	-14,55	-19,55
CrO ₃	-28,26	-22,87	-16,64	-18,00	-17,30	-19,20	-21,19	-23,18
Cr ₂ O ₃	-8,17	-3,35	-0,13	0,41	-4,21	-14,00	-23,97	-33,97
FeCr ₂ O ₄	-17,20	-12,06	-8,80	-8,26	-12,85	-22,78	-33,73	-45,57
MgCr ₂ O ₄	-23,31	-17,70	-10,12	-13,63	-17,09	-25,38	-34,12	-43,07
CrF ₃	-22,68	-22,99	-26,06	-24,10	-29,40	-37,30	-45,29	-53,29
CrCl ₃	-45,33	-45,80	-48,86	-46,92	-52,23	-60,13	-68,11	-76,11
CrBr ₃	-60,06	-60,53	-63,60	-61,66	-66,97	-74,86	-82,85	-90,85
MgCrO ₄	-33,22	-27,05	-16,46	-21,86	-20,02	-20,40	-21,16	-22,12
CaCrO ₄	-25,31	-19,02	-8,55	-13,82	-11,99	-12,45	-13,35	-14,36
SrCrO ₄	-25,03	-18,90	-8,27	-13,71	-11,86	-12,21	-12,83	-13,72
BaCrO ₄	-19,44	-13,10	-2,69	-7,90	-6,05	-6,42	-7,12	-8,05
Na ₂ CrO ₄	-34,23	-27,47	-17,51	-23,49	-22,47	-23,25	-24,46	-26,18
Na ₂ Cr ₂ O ₇	-52,66	-40,51	-24,31	-31,66	-29,95	-32,62	-35,81	-39,54
K ₂ CrO ₄	-30,51	-23,07	-13,79	-16,19	-13,50	-13,40	-13,83	-13,38
K ₂ Cr ₂ O ₇	-44,94	-32,11	-16,60	-20,36	-16,98	-18,76	-20,74	-22,74

Amostra original (Eh= 568 mV, pe=9,9)

Espécies de cromo	pe						
	-10	-5	0	5	9,9	10	15
Cr(OH) ₃ am	0,66	0,66	0,65	0,65	-0,38	-0,83	-15,87
Cr(OH) ₃	-1,56	-1,56	-1,57	-1,58	-2,60	-3,06	-18,09
CrO ₃	-75,16	-60,16	-45,17	-30,18	16,64	-16,66	-16,69
Cr ₂ O ₃	1,94	1,94	1,93	1,92	0,13	-1,04	-31,12
FeCr ₂ O ₄	-1,68	-1,69	-1,70	-2,14	-8,80	-9,88	-44,97
MgCr ₂ O ₄	-8,05	-8,06	-8,07	-8,12	-10,12	-11,13	-41,32
CrF ₃	-25,02	-25,02	-25,03	-25,05	-26,06	-26,56	-41,65
CrCl ₃	-47,83	-47,83	-47,84	-47,86	-48,86	-49,37	-64,46
CrBr ₃	-62,56	-62,57	-62,57	-62,60	-63,60	-64,10	-79,20
MgCrO ₄	-74,99	-59,99	-45,00	-30,03	-16,46	-16,57	-16,73
CaCrO ₄	-67,08	-52,08	-37,09	-22,12	-8,55	-8,66	-8,80
SrCrO ₄	-66,79	-51,80	-36,81	-21,84	-8,27	-8,38	-8,54
BaCrO ₄	-61,21	-46,22	-31,23	-16,26	-9,05	-2,79	-2,93
Na ₂ CrO ₄	-76,03	-61,03	-46,04	-31,06	-2,69	-17,56	-17,64
Na ₂ Cr ₂ O ₇	-141,36	-111,36	-81,37	-51,40	-17,51	-24,38	-24,50
K ₂ CrO ₄	-72,31	-57,31	-42,32	-27,34	-24,51	-13,84	-13,91
K ₂ Cr ₂ O ₇	-133,65	-103,65	-73,66	-43,69	-13,79	-16,66	-16,77